

# СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Д.Величко [tp@test-expert.ru](mailto:tp@test-expert.ru)

Повсеместное распространение средств связи и других электро- и радиотехнических систем, а также эксплуатация высоковольтных линий электропередачи вызвали существенное повышение уровня электромагнитных полей (ЭМП). Известно, что ЭМП, которые содержат как электрическую, так и магнитную составляющие, вызывают помехи в работе радиоэлектронных устройств, оказывают сильное влияние на здоровье человека, во многих случаях опасны для жизни. В связи с этим огромное значение приобретает защита радиоэлектронных устройств и человека от воздействия электрической и магнитной компонент ЭМП. Проанализируем эффекты влияния магнитных полей промышленной частоты, а также установленные стандартами допустимые уровни воздействия МП. Рассмотрим современные способы защиты от магнитных полей промышленной частоты и сравним защитные свойства материалов, используемых для ослабления воздействия ЭМП.

**В**лияние ЭМП определяется различными факторами: частотным диапазоном электромагнитных волн – от сверхнизкочастотного (СНЧ) до сверхвысокочастотного (СВЧ) поля; компонентами ЭМП – электрическая (ЭП) и магнитная (МП) составляющие поля; источником излучения – линии электропередачи (ЛЭП) или радиотехнические системы различного назначения; уровнем напряжения источника излучения и др. В качестве примера влияния ЭМП на человека можно привести магнитные бури, которые по интенсивности воздействия зачастую уступают электромагнитным полям в промышленных центрах.

В России и во многих развитых странах методы и средства борьбы с вредным воздействием ЭМП на объекты естественного и антропогенного происхождения стандартизируются с учетом различных

физических свойств ЭМП. Разработка и внедрение специальных стандартов в области защиты от ЭМП свидетельствуют об актуальности проблемы.

Современные научные представления о влиянии магнитных полей на биомолекулы позволяют не только объяснить механизмы воздействия ЭМП на человека, но и оценить уровни МП, которые могут воздействовать на состояние организма [1, 2]. Следует отметить, что подобные исследования ведутся давно – первые выводы о влиянии ЭМП на организм были сделаны в монографии [3], изданной еще в начале прошлого века. Исследования воздействия постоянного МП либо совместного воздействия МП и ЭМП на биологические объекты позволяют совершенствовать средства и материалы защиты от ЭМП на человека [4]. Результаты подобных исследований, подтвержденные на практике, лежат в основе

Таблица 1. Эффекты воздействия магнитного поля на здоровье человека в зависимости от плотности тока

Плотность тока, мА/м <sup>2</sup>	Эффекты воздействия магнитного поля
1-10	Минимальные эффекты, не представляющие опасности для человека
10-100	Выраженные эффекты (со стороны зрительной и нервной систем)
100-1000	Стимуляция возбудимых структур (возможно неблагоприятное влияние на здоровье)
> 1000	Возможны экстрасистолия, фибрилляция желудочков сердца (острое поражение)

современных стандартов, определяющих допустимые уровни ЭМП.

Диапазон воздействий магнитного поля на организм человека в зависимости от плотности тока весьма широк (табл. 1). При этом, отметим, что уровни воздействия МП следует измерять корректно, иначе можно выйти за пределы, установленные нормативными документами, и неверно определить необходимый уровень подавления магнитного поля. Согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям СанПиН допустимые уровни электромагнитного излучения промышленной частоты 50 Гц в жилых помещениях измеряются на расстоянии 0,2 м от стен и окон на высоте 0,5–1,8 м от пола и не должны превышать: для электрического поля – 0,5 кВ/м, для магнитного поля – 5 мкТл (4 А/м).

При проектировании средств защиты от воздействия магнитного поля следует исходить из того, что подобные инструменты должны работать в весьма широком диапазоне изменения параметров поля, при разных режимах воздействий и условиях, в которых находятся защищаемые объекты. Это означает, что единый проект системы защиты любых объектов реализовать невозможно, поскольку набор требований и ограничений относительно защитных устройств слишком широк. Определить требования к системе защиты в конкретных условиях весьма сложно – в ряде случаев эта задача решается с помощью компьютерного моделирования.

Для глубокого подавления МП промышленной частоты, как правило, применяют метод шунтирования магнитного поля экраном. Экран выполняется из ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью, при этом линии магнитного поля концентрируются в стенках экрана (см. рис.). Качество экранирования определяется конструкцией и материалом экрана, а также технологией, используемой для шунтирования МП не только в цельных частях экрана, но и в местах соединения его частей.

До недавнего времени в нашей стране для создания систем электромагнитной защиты с высоким коэффициентом экранирования применялись листовые (сталь) и плитные (пермаллой) кристаллические

сплавы. При частотах МП менее 10 кГц обычные материалы не обеспечивали необходимой степени экранирования при приемлемом соотношении толщины стенок экрана и размера защищаемой области. Поэтому использовались магнитомягкие сплавы, обладающие повышенной магнитной проницаемостью, величина которой прямо пропорциональна коэффициенту экранирования – степени подавления МП в защищенной области [5]. Необходимо подчеркнуть, что высокое значение магнитной проницаемости должно сохраняться и при механических воздействиях, которые неизбежны при монтаже экрана.

Такому требованию удовлетворяют только аморфные магнитомягкие сплавы [6]. Это подтверждается работами зарубежных исследователей, которые проанализировали эффективность экранирования, выполненного с помощью аморфных и кристаллических магнитомягких сплавов.

Толщина стального листа, обеспечивающего необходимую эффективность экранирования, обычно составляет минимум 3 мм. Конструкция швов такого экрана должна обеспечивать надежный электрический контакт, имеющий низкое переходное сопротивление высокочастотным токам по периметру соединяемых

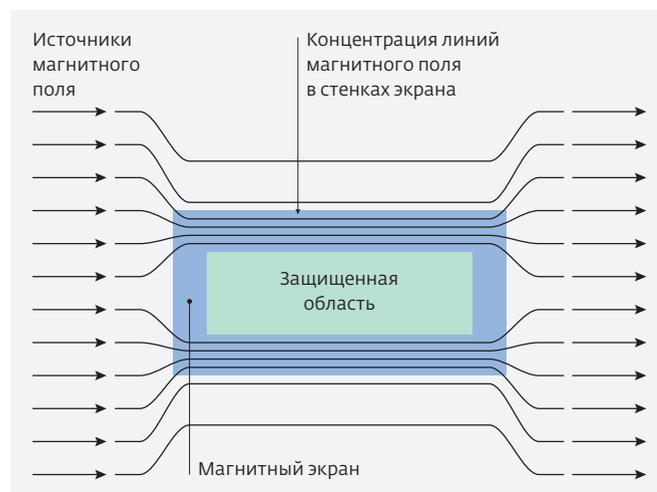


Рис. Шунтирование магнитного поля экраном

Таблица 2. Сравнение характеристик магнитных материалов, используемых для защиты от МП

Характеристики магнитных материалов	Электро-тех. сталь	Пермаллой (мю-маталл)		Феррит	Аморфный сплав		Нано-кристаллич. сплав
		Ni (50%)	Ni (80%)		Mn-Zn	На осн. Co (80%)	
Амплитуда магнитной индукции, Тл	2,0	1,55	0,74	0,5	0,58	1,56	1,16
Коэрцитивная сила, Э	0,5	0,15	0,03	0,1	0,005	0,03	0,01
Начальная проницаемость, $\mu_i$	1500	6000	40 000	3000	60 000	5000	70 000
Максимальная проницаемость, $\mu_{max}$	20 000	60 000	200 000	6000	1·10 <sup>6</sup>	50 000	600 000
Удельное сопротивление, $\mu\text{О}/\text{см}$	50	30	60	1·10 <sup>6</sup>	120	130	130
Температура Кюри, °С	750	500	500	140	255	415	560
Температура кристаллизации, °С	-	-	-	-	530	550	515
Предельная рабочая температура, °С	-	-	-	100	90	150	180
Оптимальная область рабочих частот, кГц	0...1	0...10		10...15	10...100 000		

деталей экрана. Для обеспечения этого требования листы экрана соединяются герметичным швом электродуговой сварки в среде защитного газа (по ГОСТ 14771–76). При этом обязательно контролируется качество каждого шва, что усложняет изготовление входов в помещения, вентиляции и вводов коммуникаций. Кроме того, магнитные свойства материалов при деформации меняются. Например, магнитная проницаемость пермаллоя марки 79НМ после 10%-ной деформации снижается почти в 18 раз. В настоящее время при создании материалов для электромагнитной защиты от МП наибольшую ценность представляют быстрозакаленные металлические сплавы (аморфные и нанокристаллические).

Наряду с высокой механической прочностью и коррозионной стойкостью магнитные аморфные сплавы (ферромагнитные сплавы с узкой петлей гистерезиса) характеризуются исключительной мягкостью магнитных свойств (малой коэрцитивной силой, высокой магнитной проницаемостью) – они легко намагничиваются и размагничиваются в слабых полях. В сочетании с высоким электрическим сопротивлением это обеспечивает низкие значения магнитных и электрических потерь.

Магнитные аморфные сплавы позволяют, например, при экранировании силового кабеля снизить уровень магнитного поля в 10–500 раз, а при проведении сварочных работ ослабить внешнее магнитное поле внутри защитной одежды в 10–20 раз при внешнем поле

до 1000 мкТл. Это обеспечивает выполнение требований СанПиН к уровню электромагнитных полей в производственных условиях.

Аморфный сплав – определенный вид прецизионного сплава – обладает комплексом физических и химических свойств, полезных для эффективного снижения МП. Одно из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали – отсутствие периодичности в расположении атомов. От кристаллических сплавов аморфные отличаются большей устойчивостью к коррозии, прочностью, которая в несколько раз выше, и улучшенными электромагнитными характеристиками. Путем химического подбора компонентов сплава и отладки метода его охлаждения достигается аморфное состояние металла. Скорость охлаждения сплава превышает скорость кристаллизации за счет того, что готовый расплав выливается на диск, который вращается с большой скоростью. При попадании на вращающийся диск расплав резко охлаждается, его структура становится подобной аморфной структуре стекла и расплав принимает форму ленты толщиной от 15 до 60 мкм. Магнитные и экранирующие свойства ленточных аморфных ферромагнитных материалов изучены С.Гудошниковым [7].

С помощью термомагнитной обработки аморфным сплавам придают специальные свойства. Для этого изменяют форму петли гистерезиса либо делают структуру частично кристаллизованной, аморфной или нанокристаллической.



В 1988 году инженеры фирмы Hitachi Metals разработали так называемый нанокристаллический сплав. Наибольшую магнитную проницаемость и наименьшую коэрцитивную силу нанокристаллическая структура приобретает благодаря расположению кристаллитов диаметром от 10 до 20 нм по всей магнитопроводной ленте. Из-за относительно высокого удельного сопротивления (110–120 мкОм/см) и незначительной толщины ленты появилась возможность обеспечить минимальную величину коэрцитивной силы и максимальную величину магнитной проницаемости.

Сравнение характеристик применяемых для защиты от МП магнитных материалов (табл. 2) показывает, что феррит, пермаллой и электротехническая сталь обладают большими удельными потерями, чем аморфные и нанокристаллические сплавы [8, 9]. Поэтому магнитопроводы из аморфных и нанокристаллических сплавов значительно превосходят по качеству изделия из феррита, пермаллоя и электротехнической стали.

Можно выделить следующие области применения защитных магнитных и электромагнитных экранов полей промышленной частоты из аморфных и нанокристаллических сплавов:

- экранирование жилых и нежилых помещений;
- экранирование трансформаторных подстанций;
- создание магнитно-экранированных комнат для научно-исследовательских центров;
- экранирование силовых кабелей, создание кабель-каналов;
- экранирование боксов для проведения медико-биологических исследований;
- изготовление защитной одежды для проведения сварочных работ.

\* \* \*

По результатам анализа свойств материалов для магнитопроводов можно сделать вывод о том, что использование современных аморфных и нанокристаллических сплавов для защиты человека, производственных объектов, специально оборудованных лабораторий позволяет существенно улучшить защиту от вредного воздействия магнитных полей промышленных частот.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А.В. Обоснование предельно допустимых норм на индукцию магнитных полей промышленной частоты для человека // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 1.
2. Гвоздарев А.Ю. Механизмы воздействия электромагнитных полей на биологические объекты с позиций модели неоднородного модифицированного физического вакуума. – СНК "Пuls БУДУЩЕГО", 2003, <http://pulse.webservis.ru/Science/Ether/Bio>.
3. Данилевский В.Я. Исследование над физиологическим действием электричества на расстоянии. – Х.: Зильберберг, 1900.
4. Жадин М.Н. Биологическое действие постоянного магнитного поля, предъявляемого изолированно и в комбинации с электромагнитным полем: физические основы. – Материалы I Российской конференции "Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования". – М., 1996.
5. Кузнецов П.А. Разработка новых материалов для систем защиты от электромагнитного излучения и противодействия террористической деятельности. – Труды восьмой научно-практической конференции "Актуальные проблемы защиты и безопасности", том 1 "Технические средства противодействия терроризму". – Санкт-Петербург, НПО Специальных материалов, 4–7 апреля 2005 г.
6. Кузнецов П.А. Материалы на основе аморфных магнитомягких сплавов как средство защиты человека от постоянных магнитных полей и магнитных полей частотой 50 Гц. – Труды восьмой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности (ЭМС-2004), 2004.
7. Гудошников С.А. Магнитные и экранирующие свойства ленточных аморфных ферромагнитных материалов // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. Вып. 19.
8. Аморфные и нанокристаллические магнитомягкие сплавы. – <http://www.mstator.ru/products/amorf>.
9. Изделия для защиты от магнитных полей промышленной частоты и от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. – <http://www.crismprometey.ru/production/products/ware-shield-magnetic-electromagnetic-fields.aspx>.

