



## ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИЗ ПЕНОСТЕКЛА

*Короленко А.В., Букетов А.В., Малыгин Б.В., Борисенко Е.И.  
Херсонская государственная морская академия*

*В работе проведены исследования о возможности экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла; дана общая характеристика электромагнитного излучения, приведены наиболее интенсивные источники низкочастотного, высокочастотного и сверхвысокочастотного электромагнитного поля на судах; рассмотрены получение и физические свойства пеностекла; для исследования экранирующих свойств пеностекла и его физических характеристик использовали генераторы Г4-201, R&S SMR60; определены коэффициенты отражения пеностекла анализатором спектра С4-98; построены графики изменений значений коэффициента стоячих волн в зависимости от модуля коэффициента отражения; показана возможность экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла.*

*Ключевые слова: электромагнитные излучения, рабочая зона, электронная техника, защитный экран, пеностекло.*

**Введение.** Электромагнитное излучение, вид энергии, существующий в форме волн широкого диапазона частот. Примерами электромагнитного излучения являются видимый свет, радиоволны, рентгеновские и жесткое гамма-излучение, инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Электромагнитные волны создаются за счет электрических и магнитных вибраций, возникающих в атомах. Эти волны образуют особый электромагнитный спектр и как любые волны подвергаются отражению, рефракции, интерференции, дифракции, а также поляризации. Однако, помимо волновой природы, электромагнитное излучение имеет также квантовую природу, и некоторые его свойства, например, поглощение или испускание света, объясняются только через понятие кванта (фотона). Свойства электромагнитных волн различны. И зависят эти свойства от длины волны излучения. Чем больше длина волны, тем меньше частота излучения. Поэтому то, что принято называть «длинноволновым», называют иногда и «низкочастотным». Это одно и то же. Третьим синонимом служит показатель энергии. Чем выше частота излучения, тем больше его энергия. С повышением энергии связано вредное влияние излучения на живые организмы. Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человеком (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности. Электромагнитное излучение увидеть невозможно, а представить не каждому под силу, и потому нормальный человек его почти не опасается. По тяжести влияния электромагнитное излучение может не восприниматься человеком вообще или же привести к полному истощению с функциональным изменением деятельности мозга и смертельному исходу. Исследования показали, что продолжительное влияние электромагнитного излучения, даже относительно слабого уровня, может вызвать раковые заболевания, потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, импотенцию и даже повысить склонность к самоубийству.

Электромагнитные излучения являются одним из распространенных неблагоприятных факторов судовой среды. Наиболее интенсивными источниками низкочастотного электромагнитного поля на судах являются элементы судовой электросети: кабели, силовые щиты и мощные распределительные и регулирующие устройства. Уровень электромагнитного поля, создаваемого такими устройствами, определяется амплитудой токов, протекающих в электрических цепях, а потребляемые токи определяются нагрузкой, которая изменяется в процессе эксплуатации судна.



В рулевой и штурманской рубке условия труда характеризуются воздействием электромагнитного поля. Судоводители от 5 до 15 % рабочего времени работают с радиолокационными станциями, являющимися источником высокочастотных и сверхвысокочастотных излучений. Таким образом, на экипаж судов воздействуют электромагнитные излучения радиочастотного диапазона, промышленной частоты 50 Гц, постоянные магнитные поля, электромагнитные поля бортовых компьютеров, ослабленное и искаженное магнитное поле Земли.

**Актуальность исследования.** Определение основных судовых источников электрических и магнитных полей частотой 50 Гц, исследование их воздействия на членов экипажа в условиях морского плавания, поиск эффективных методов, способов и средств оценки этого воздействия, создание надёжной защиты является для морских судов актуальной научно-технической задачей, требующей тщательного изучения и выработки оптимального решения. Особенную важность эта проблема приобрела на морских судах, поскольку члены экипажей постоянно в течение многомесечных рейсов подвергаются интенсивному воздействию электромагнитных полей электрического, электронного и радионавигационного комплекующего оборудования. К тому же, об актуальности проведения работ, направленных, в конечном счёте, на создание и обеспечение безопасной электромагнитной обстановки на борту судна, свидетельствуют материалы Международного Кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ).

**Целью работы** является проведение исследований о возможности экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла.

**Изложение материала.** Одним из способов создания благоприятной электромагнитной обстановки объекта является экранирование электромагнитных волн. Экранирование – это локализация электромагнитной энергии в пределах определенного пространства путем преграждения ее распространения. Применение качественных экранов позволяет решать задачи персонала от повышенного уровня электромагнитных полей и обеспечение благоприятной экологической обстановки вокруг работающих электроустановок и других устройств. Под экранированием в общем случае понимается как защита приборов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. В любом случае, эффективность экранирования – это степень ослабления составляющих поля (электрической или магнитной), определяемая как отношение действующих значений напряженности полей в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана.

Для защиты от полей электромагнитного излучения многие исследователи предлагают изготавливать экраны из различных материалов.

Различных материалов сегодня выпускают столько, что, кажется, невозможно придумать что-то новое. Новинкой становится разве что хорошо забытое старое. Так произошло и с пеностеклом – уникальным и универсальным материалом.

В последнее время многие авторы отмечают наиболее перспективную защиту от электромагнитных полей веществами, которым при получении в их структуре с определенной периодичностью задают различные диэлектрические проницаемости [1, 2]. К периодическим структурам относятся также и пеноматериалы на основе пеностекла с упорядоченной структурой расположения пор.

Пеностекла, используемые для защиты от полей электромагнитного излучения, привлекают к себе и возможностью защиты от широкого диапазона частот электромагнитного излучения от низкого до сверхвысокочастотного, устойчивостью к природным условиям, а также установлением необходимых форм и размеров при получении.



Чтобы понять почему выбрано пеностекло, рассмотрим производство пеностекла, его структуру и физические свойства.

В настоящее время основной технологией производства пеностекла является так называемая «порошковая»: тонкоизмельчённое силикатное стекло (частицы 2-10 мкм) смешивается с газообразователем (обычно – углеродом), получившаяся однородная механическая смесь (шихта) в формах, либо на конвейерной ленте поступает в специальную туннельную печь. В результате нагрева до 800-900 °С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных CO<sub>2</sub> и CO, которые и вспенивают стекломассу. Механизм реакции газо- и пенообразования достаточно сложен и не ограничивается только реакцией окисления углерода кислородом воздуха, более важную роль играют окислительно-восстановительные процессы взаимодействия углерода с компонентами размягчённого стекла. Применяют с этой целью отходы обычного стекла или легко спекающиеся горные породы с повышенным содержанием щелочей – трахит, сиенит, нефелин, обсидиан, вулканический туф. В качестве газообразователей применяют каменноугольный кокс, антрацит, известняк, мрамор. Углеродсодержащие газообразователи создают в пеностекле замкнутые поры, а карбонаты – сообщающиеся [3]. Вспенивание так называемого «жидкого стекла» происходит при температурах около 100-200 °С в результате бурного удаления воды из становящегося вязким раствором. Продукт вспенивания растворимого стекла абсолютно не стоек к действию даже холодной воды, в отличие от пеностекла, химическая стойкость которого сопоставима с исходным листовым или тарным стеклом.

Пеностекло выпускают в форме блоков, плит и гранул. Плотность пеностекла – 110-200 кг/м<sup>3</sup>. Сорбционная влажность пеностекла – 0,2-0,5 %. Теплопроводность пеностекла – 0,04-0,08 Вт/(м·К) (при +10 °С) Паропроницаемость пеностекла – 0-0,005 мг/(м.ч.Па). Предел прочности на сжатие – 0,7-4 МПа. Предел прочности на изгиб – 0,4-0,6 МПа. Температура начала деформации пеностекла – 450 °С. Водопоглощение пеностекла 0-5 % от объёма. Эффективный диапазон температур: от –260 °С до + 500 °С [4].

По химической структуре пеностекло – аморфное тело, вспененное силикатное стекло, расплав высших оксидов кремния, кальция, натрия, алюминия и магния. Никаких других химических веществ или органических соединений в нем нет. А высшие оксиды, как известно, особо устойчивы к химически и биологически активным (агрессивным) средам.

В зависимости от рецептуры и технологии изготовления пеностекло может иметь закрыто- или открытопористую структуру, применяться в качестве теплоизоляторов.

Наряду с отличными теплоизоляционными свойствами и полной экологической и гигиенической безопасностью, пеностекло имеет высокую прочность, безударность, низкую плотность, долговечность, высокую морозостойкость и негорючесть, удобство обработки и простота монтажа, способность сохранять эти показатели на протяжении длительного времени постоянными. Материал стоек ко всем обычно применяемым кислотам и их парам, не пропускает воду и водяной пар, не поддерживает горения, не выделяет дыма и токсичных веществ.

Таким образом, пеностекло (вспененное стекло, ячеистое стекло) представляет собой вспененную стекломассу.

Основными параметрами пеностекла, которые влияют на защиту от воздействия полей электромагнитных излучений, являются: диэлектрические проницаемости стекла и содержимого пор, пористость системы, диаметр пор. Все указанные параметры – регулируемые и прогнозируемые при синтезе пеностекла.

Во многих исследованиях отмечалось влияние толщины пеностекла на поглощение полей, а исследований по распространению полей электромагнитных излучений практически не отмечено.



Стекло и поры в пеностекле образуют границы переходов для полей электромагнитных излучений: «стекло-пора» и «пора-стекло». Особо важным в исследовании является граница «стекло-пора», имеющая сферическую поверхность. На такой поверхности создаются углы падения на пору от 0 до 90° и соответственно, возможно проявление эффекта полного внутреннего отражения. Поэтому, на границе раздела «стекло-пора» всегда будут существовать области частичного и полного отражения.

**Результаты проведенных исследований.** В работе проводилось измерение отражательных свойств пеностекол от электромагнитного излучения.

В качестве генераторов использовали: Г4-201 (частота  $f = 0,1 \div 1280$  МГц) и R&S SMR60 (частота  $f = 10$  МГц  $\div$  60 ГГц). С помощью указанных генераторов были изучены защитные свойства пеностекол при частотах  $f$ : 50 МГц; 460 МГц; 30 ГГц, 53,5 ГГц.

В исследованиях применялся анализатор спектра С4-98 имеющий следующие основные технические характеристики: рабочий частотный диапазон находится в пределах от 100 Гц до 178 ГГц; основная погрешность измерения частоты входного синусоидального сигнала в частотном диапазоне  $0,01 \div 1,45$  ГГц составляет  $\pm (10^{-2} \cdot f + 10)$ , в частотном диапазоне  $1,45 \div 178,4$  ГГц –  $\pm 10^{-2} \cdot f$ , где  $f$  – частота входного сигнала.

С увеличением частоты  $f$  электромагнитных излучений смещение электронов и ионов под действием поля протекает очень быстро ( $10^{-15}$  с и  $10^{-13}$  с соответственно), поэтому эти виды поляризации не приводят к поглощению энергии поля.

На рис. 1 приведена схема отражения лучей при проведении исследований.

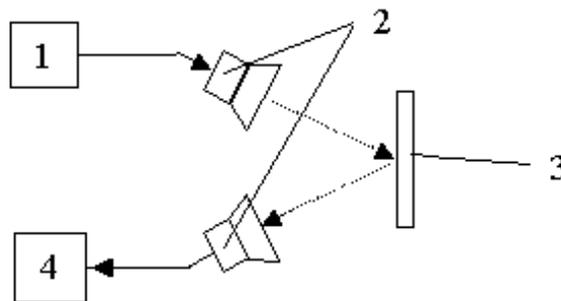


Рисунок 1 – Схема определения коэффициента отражения:

1 – генератор; 2 – антенны; 3 – пеностекло; 4 – анализатор спектра С4-98

По общепринятой методике определения коэффициента отражения, основанной на измерении интенсивностей падающей и отраженной волны электромагнитных излучений получили следующие экспериментальные коэффициенты отражения  $k_o$ , табл. 1.

В качестве пеноматериалов использовали пеностекла: 1 – беспримесное пеностекло; 2 – беспримесное пеностекло выдержанное в азотной кислоте в течение 24 ч (с целью определения защитных свойств исследуемых пеностекол в агрессивных средах); 3 – пеностекло с примесью меди; 4 – пеностекло с примесью титана; 5 – пеностекло с примесью графита. Пористость указанных пеностекол составляет  $\Pi = 0,8$ .

Таблица 1 – Коэффициенты отражения  $k_o$

Измеряемая величина	Состав пеностекла				
	1	2	3	4	5
$k_o$	0,65	0,65	0,95	0,94	0,97

Экспериментально полученные коэффициенты отражения  $k_o$  показали, что наибольшей отражательной способностью обладают пеностекла с примесями меди и титана в виде соединений и углерода.



Это связано с уменьшением диэлектрических потерь при прохождении волны в пеностеклах составов 3 – 5. Пеностеклы составов 1 и 2 также отражают электромагнитные излучения, но с более низкими значениями коэффициентов отражения по сравнению с другими составами.

Рассмотрим, что происходит при падении на пеностекло электромагнитного излучения с длиной волны  $\lambda$  соизмеримой и кратной размерам пор. Для изучения возьмем два поля электромагнитных излучений с разными углами падения на поверхность. На рис. 2 эти поля обозначены как: 1 – поле нормально падающее, 2 – поле, падающее под углом к поверхности.

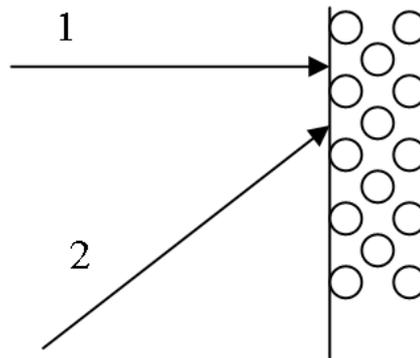


Рисунок 2 – Падение электромагнитного излучения на пеностекло

При нормальном падении электромагнитного излучения на поверхность пеностекла в порах возникает частный случай интерференции волн – появляются стоячие волны, которые образуются вследствие сложения падающей и отраженной волн.

При этом попадании электромагнитного луча в пору происходит его отражение от границы пора-материал. Отраженный луч накладывается на падающий луч; если лучи отражаются по нормали от поверхности внутри поры, то образуется стоячая волна, не переносящая энергию в материал.

Стоячие волны будут присутствовать и при падении электромагнитного излучения под углом к поверхности, распространяющееся по материалу к поверхности поры, всегда будет иметь нормально падающие лучи.

Между коэффициентом стоячих волн  $K$  и модулем коэффициента отражения  $|R|$  существует следующее соотношение [5]:

$$K = \frac{1 + |R|}{1 - |R|}.$$

Построенные по указанной формуле графики изменений значений коэффициента стоячих волн  $K$  в зависимости от модуля коэффициента отражения  $|R|$ , который является функцией угла падения и частоты поля электромагнитного излучения на поверхности пеностекла, показали, что наименьшими значениями  $K$  при частоте  $f = 53,5$  ГГц и углу падения  $i = 0^\circ$  обладают исследуемые образцы с примесью соединений титана (рис. 3)  $K = 249,00$  отн. ед. и с примесью углерода (рис. 4)  $K = 165,66$  отн. ед. Увеличение коэффициента стоячих волн происходило с увеличением падающей частоты поля ЭМИ, а также – при уменьшении значений угла падения излучения.

Установлено, что для пеностекло составов 1 – 3 коэффициент стоячих волн  $K$  при таких же условиях значительно ниже.

Для обеспечения защиты обслуживающего персонала электронной техники на судне от электромагнитных излучений были разработаны защитные экраны из пеностекла. Необходимые формы и размеры защитных экранов устанавливаются при изготовлении пеностекла с учетом форм электронных приборов или монтажной платы.

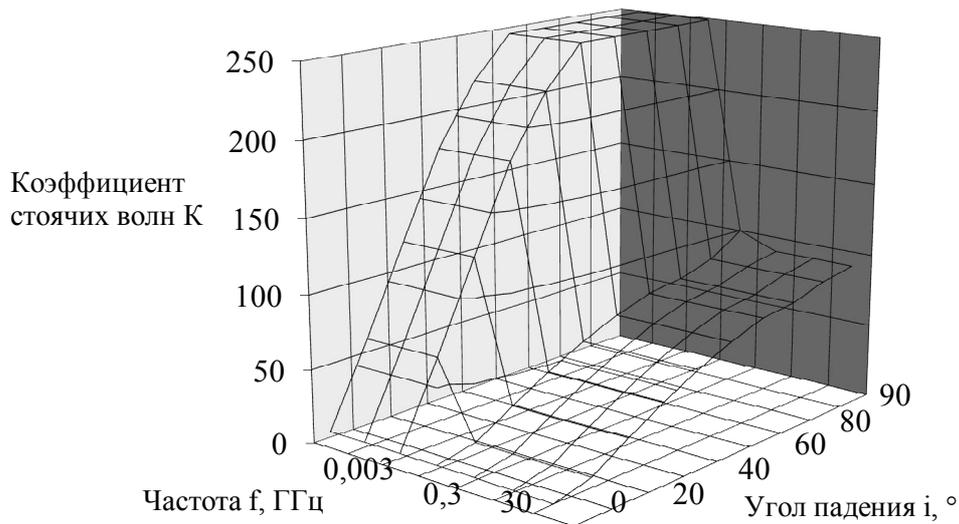


Рисунок 3 – Коэффициент стоячих волн K для пеностекла с примесью титана

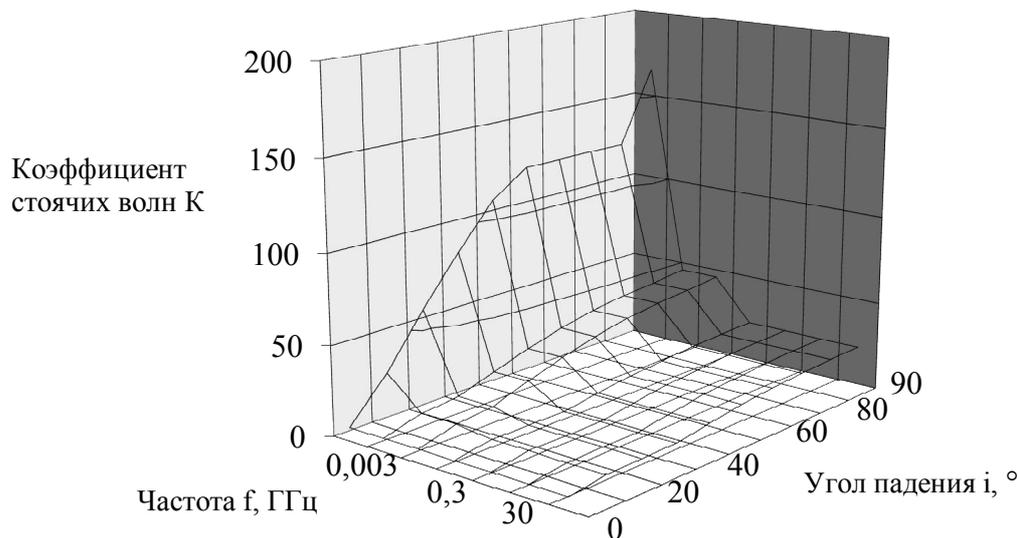


Рисунок 4 – Коэффициент стоячих волн K для пеностекла с примесью графита

В зависимости от размеров приборов, которые подлежат защите, экраны крепили к электронным приборам двумя способами:

– посредством силиката натрия (при площади поверхности электронных элементов  $S < 100 \text{ мм}^2$ );

– с использованием крепежных изделий (при площади приборов  $S > 100 \text{ мм}^2$ ) (рис. 5).

Были разработаны следующие виды защиты обслуживающего персонала электронной техники на судне от ЭМИ на основе защитных экранов:

- защита одного дискретного электронного изделия;
- защита монтажной платы с установленными на ней электронными элементами;
- защита всего прибора.

В заключении отметим, что аналитическая оценка эффективности экранирования, скажем для плоскопараллельного бесконечного экрана, в общем случае сложна, то может быть использован более простой, приближенный анализ, основанный на представлении эффективности экрана как сумма отдельных составляющих:



$$K = K_{\text{погл}} + K_{\text{отр}} + K_{\text{н.отр}}$$

где  $K_{\text{погл}}$  – эффективность экранирования вследствие поглощения экраном электрической энергии,  $K_{\text{отр}}$  – эффективность экранирования за счет отражения электромагнитной волны экраном,  $K_{\text{н.отр}}$  – поправочный коэффициент учитывающий многократные внутренние переотражения волны от поверхностей экрана.

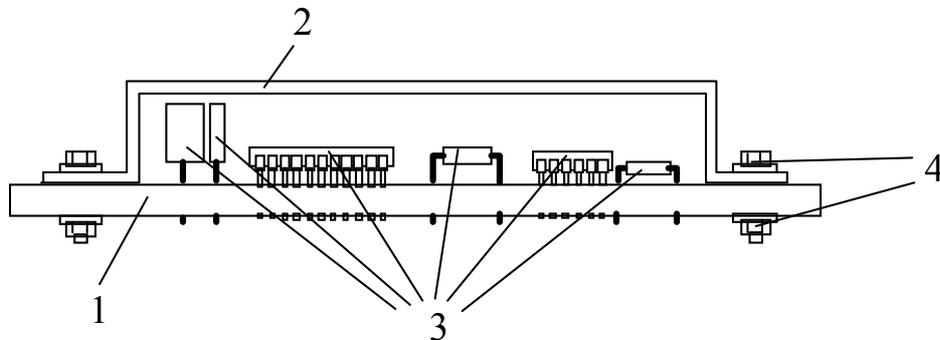


Рисунок 5 – Схема установки пеностекла на монтажную плату: 1 – монтажная плата; 2 – пеностекло; 3 – маскируемые объекты; 4 – крепежные изделия

Если потеря энергии волны в экране, то есть ее поглощение, превосходит 10 дБ, то последним коэффициентом в приведенном выражении можно пренебречь. Эффективность экранирования вследствие поглощения энергии в толще экрана можно рассчитать из простого соотношения, полученного на основе представления электрической и магнитной составляющей поля в материале, на поверхности которого выполняются граничные условия Леонтовича.

**Выводы.** В результате исследований установлено, что экраны, изготовленные из пеностекла составов: беспримесное пеностекло; беспримесное пеностекло выдержанное в азотной кислоте в течение 24 ч (с целью определения защитных свойств исследуемых пеностекел в агрессивных средах); пеностекло с примесью меди; пеностекло с примесью титана; пеностекло с примесью графита полностью защищают обслуживающий персонал электронной техники на судне от воздействия электромагнитного излучения. Дальнейшие исследования будут направлены на защиту от широкого диапазона частот электромагнитного излучения: от низкого до сверхвысокочастотного.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лящук О. Б. Теоретичне дослідження прямої задачі відбивання надвисокочастотних електромагнітних хвиль від діелектричної пластини з розшаруванням / О. Б. Лящук // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона. – 1998. – № 4. – С. 36-39.
2. Лящук О.Б. Радіохвильовий неруйнівний контроль захисних діелектричних покриттів і композитних матеріалів / О. Б. Лящук // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – № 4. – С. 46-50.
3. Демидович Б. К. Пеностекло / Б. К. Демидович. – Минск : Наука и техника, 1975. – 248 с.
4. Стандарт СТБ 1322-2002. Блоки теплоизоляционные из пеностекла : Технические условия. [Введен в действие (вступление в силу) 01.01.2003].
5. Туманов Ю. Н. Низкотемпературная плазма и высокочастотные электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики / Ю. Н. Туманов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.



**Короленко О.В., Букетов А.В., Малигін Б.В., Борисенко К.І. ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В РОБОЧІЙ ЗОНІ СУДНА З ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ З ПІНОСКЛА**

*У роботі проведені дослідження можливості екранування електромагнітних випромінювань від електронної техніки обслуговуючого персоналу на судні екраном з піноскла; дана загальна характеристика електромагнітного випромінювання, наведені найбільш інтенсивні джерела низькочастотного, високочастотного і надвисокочастотного електромагнітного поля на судах; розглянуті отримання та фізичні властивості піноскла; для дослідження екрануючих властивостей піноскла і його фізичних характеристик використовували генератори Г4-201, R & S SMR60; визначені коефіцієнти відображення піноскла аналізатором спектру С4-98; побудовані графіки змін значень коефіцієнта стоячих хвиль в залежності від модуля коефіцієнта відображення; показана можливість екранування електромагнітних випромінювань від електронної техніки обслуговуючого персоналу на судні екраном з піноскла.*

*Ключові слова: електромагнітні випромінювання, робоча зона, електронна техніка, захисний екран, піноскло.*

**Korolenko A.V., Buketov A.V., Maligin B.V., Borisenko K. I. ELECTROMAGNETIC SHIELDING RADIATION IN THE WORKING AREA SHIP USING SHIELD FROM FOAMGLASS**

*In this article contains a study on the possibility of shielding electromagnetic radiation from electronic engineering attendants on board foam glass screen; over views characteristic of electromagnetic radiation are the most intense sources low-frequency, high-frequency and microwave electromagnetic field courts; considered getting and physical properties of the foam glass, and for the study of shielding properties of foamed glass and its physical characteristics used generator G4-201, R & S SMR60; defined reflection coefficients foam glass spectrum analyzer C4-98, the graphs of changes in the standing wave depending on the modulus of the reflection coefficient, the possibility of shielding electromagnetic radiation from electronic equipment maintenance personnel to vessel foam glass screen.*

*Keywords: electromagnetic radiation, work area, electronic equipment, protective screens foam glass.*

Статтю прийнято  
до редакції 24.11.2013