
УДК 537.531:[628.518+669.112.227.322]

Влияние температуры на характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения перлитосодержащих экранов

Бойправ О.В.*, Борботько Т.В., Лыньков Л.М.*****

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

БГУИР, ул. П. Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь

**e-mail: boipravolga@rambler.ru*

***e-mail: kafzi@bsuir.by*

****e-mail: leonid@bsuir.by*

Аннотация

Обоснована актуальность проведения измерений параметров характеристик отражения и передачи электромагнитного излучения (ЭМИ) экранов ЭМИ в условиях, соответствующих пониженным температурам воздуха. Получены частотные зависимости коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне 0,7...17 ГГц для экранов ЭМИ, изготовленных на основе перлитосодержащих композиционных материалов, с плоской и геометрически неоднородной формами поверхности при температуре последней, составляющей $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлена динамика изменения температуры поверхности указанных экранов ЭМИ в диапазоне от $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исследованные экраны ЭМИ предложено использовать для изготовления защитных корпусов оборудования, эксплуатируемого в неотопливаемых помещениях. Такие корпуса будут способствовать снижению уровня внешних электромагнитных воздействий на данное оборудование.

Ключевые слова: гипс, коэффициент отражения, коэффициент передачи, перлит, хлорид кальция, электромагнитное излучение.

1. Введение

В настоящее время для изготовления экранов ЭМИ широко используются композиционные материалы. Они могут формироваться путем спекания электропроводных, диэлектрических и/или магнитных порошков, либо путем их закрепления в радиопрозрачных связующих веществах. Второй способ формирования композиционных материалов является более технологичным по сравнению с первым, ввиду того, что допускает использование более широкого набора порошков и, как правило, не предполагает проведение высокотемпературного нагрева компонентов [1]. Выбор порошков для изготовления композиционных материалов обуславливается требованиями к характеристикам отражения и передачи ЭМИ, а также рабочему диапазону частот формируемых на их основе экранов ЭМИ, а связующего вещества – требованиями к механическим свойствам данных экранов. Как связующее вещество, так и закрепленный в нем порошок определяют эксплуатационные свойства композиционных материалов, а значит, и экранов ЭМИ на основе таких материалов. Данные свойства (в частности, температура окружающей среды) в ряде случаев оказывают влияние на значения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ экранов. Следовательно, для определения области использования экранов, наряду с измерениями параметров их характеристик отражения и передачи ЭМИ в условиях комнатных температур, актуальным является проведение аналогичных измерений в условиях, соответствующих пониженным температурам воздуха.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния температуры поверхности экранов ЭМИ на основе перлитосодержащих композиционных материалов на характеристики их отражения и передачи ЭМИ. В [2] обоснованы преимущества использования порошкообразного перлита в качестве компонента композиционных материалов для изготовления экранов ЭМИ.

2. Методика проведения эксперимента

Исследованные экраны ЭМИ изготовлены на основе композиционных материалов, наполнителем которого являлся перлит (30 об. %), а связующим веществом – смесь гипса (30 об. %) и 30 %-го водного раствора хлорида кальция (40 об. %). Средний размер фракций перлита, использованного в процессе формирования композиционных материалов для исследованных экранов ЭМИ, составляет 3 мм. В состав перлита входят оксид кремния (70...75 масс. %), оксид алюминия (12...14 масс. %), связанная вода (до 6 масс. %), а также до 5 масс. % оксидов трехвалентного железа, натрия, калия, кальция и магния [3].

Гипс относится к связующим веществам класса В (неорганические водные связующие), имеющим обратимый характер затвердевания. В отличие от связующих веществ классов А и Б (органических неводных и водных соответственно), процесс затвердевания которых происходит при тепловой сушке или нагреве до высоких температур (~ 500 °С), связующие вещества класса В, как правило, затвердевают в условиях комнатных температур (в частности, гипс, цемент, формовочные глины).

Гипс представляет собой двухводный сульфат кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), в состав которого входит 46,5 масс.% оксида серы, 32,6 масс. % оксида кальция, 20,9 масс.%

водорода. Кроме того, гипс содержит кристаллизационную воду и гигроскопическую влагу, сорбируемую как на поверхность гипсового камня, так и в его порах. Микроструктура гипсового камня представлена совокупностью игольчатых элементов [4].

Преимущество использования гипсового раствора в качестве связующего вещества для изготовления экранов ЭМИ заключается в его способности затвердевать в течение более короткого промежутка времени (в среднем в течение 0,5 часа) по сравнению с цементным раствором или формовочными глинами.

Использование водного раствора хлорида кальция вместо воды в процессе изготовления гипсовых растворов способствует удержанию большего объема влаги в формируемом гипсовом камне, а значит, и увеличению прочности последнего. Это связано с повышением растворимости содержащегося в гипсе оксида кальция, обуславливающим ускорение твердения [5]. Кроме того, добавление в гипсовый раствор хлорида кальция влияет также на микроструктуру формируемого гипсового камня: в ней начинают преобладать пластинчатые элементы [6].

Общее количество исследованных экранов ЭМИ – 2. Экран № 1 характеризовался плоской формой поверхности, экран №2 – геометрически неоднородной (пирамидальной). Экран № 1 представлял собой плитку толщиной 10 мм, экран № 2 – заполненную смесью перлита и гипсового раствора форму, изготовленную из пресованной целлюлозы и имеющей углубления в виде совокупности усеченных четырехугольных пирамид. Высота пирамид – 40 мм, угол сходимости их граней – 11° . Основания пирамид – квадраты, площади которых составляют 625 мм^2 и 100 мм^2 . Количество геометрических неоднородностей в 1 м^2 экрана № 2 – 400.

Установлено, что при температуре воздуха, составляющей $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, и его относительной влажности 80% температура поверхности исследованных экранов ЭМИ равна $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерения проводились с использованием термопары открытого типа К1-89 и мультиметра М890G. Согласно [7], абсолютная погрешность измерений, проводимых с использованием термопары указанного типа, составляет $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для обеспечения снижения температуры поверхности экранов ЭМИ до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ проводилось выдерживание их в морозильной камере в течение 24 часов. График, соответствующий динамике изменения температуры поверхности исследованных экранов ЭМИ в пределах диапазона от $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлен на рисунке 1.

Показано, что промежуток времени, необходимый для стабилизации температуры поверхности исследованных экранов ЭМИ в условиях температуры воздуха, составляющей $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, и его относительной влажности 80% , равен 150 мин.

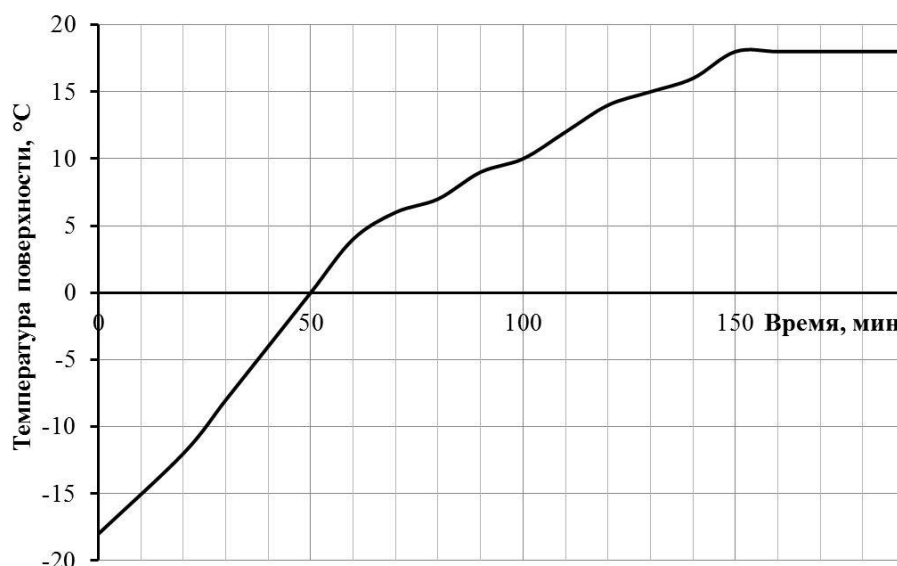


Рисунок 1 – Динамика изменения температуры поверхности исследованных экранов ЭМИ

Измерения параметров характеристик отражения и передачи экранов ЭМИ

проводились с использованием панорамного измерителя коэффициентов отражения и передачи SNA 0,01–18 по методике, представленной в [8].

3. Результаты и их обсуждение

Установлено, что значения коэффициентов отражения ЭМИ экрана № 1 при температуре его поверхности $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ равны $-4\text{...}-20$ дБ при значениях коэффициентов передачи ЭМИ $-6\text{...}-20$ дБ. Для экрана № 2 указанные параметры составляют $-5\text{...}-27$ дБ и $-5\text{...}-25$ дБ. Увеличение температуры поверхности экрана № 1 до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к увеличению значений его коэффициентов отражения ЭМИ на $2\text{...}6$ дБ в диапазоне частот $0,7\text{...}17$ ГГц и коэффициентов передачи ЭМИ на $5\text{...}8$ дБ в диапазоне частот $0,7\text{...}13$ ГГц. В случае, если температура поверхности экрана № 1 увеличивается до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, указанные приращения составляют соответственно $3\text{...}7$ дБ и $5\text{...}9$ дБ. Установлено, что изменение температуры поверхности экрана № 1 с $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ не оказывает влияние на его характеристики передачи ЭМИ в диапазоне $13\text{...}17$ ГГц.

Увеличение температуры поверхности экрана № 2 с $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к увеличению значений его коэффициентов отражения ЭМИ на $2\text{...}8$ дБ в диапазоне частот $0,7\text{...}17$ ГГц и коэффициентов передачи ЭМИ на $5\text{...}8$ дБ в диапазоне частот $0,7\text{...}6$ ГГц. В случае, если температура поверхности экрана № 2 увеличивается до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, указанные приращения составляют соответственно $2\text{...}10$ дБ и $5\text{...}9$ дБ. Температура поверхности экрана № 2 не оказывает влияние на его характеристики передачи ЭМИ в диапазоне $6\text{...}17$ ГГц.

В диапазоне частот $0,7\text{...}3$ ГГц частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ исследованных экранов носят резонансный характер. При этом установлено, что температура поверхности данных экранов не оказывает влияние на

значения резонансных частот коэффициентов отражения ЭМИ. Значения коэффициентов отражения ЭМИ исследованных экранов не зависят от изменения температуры их поверхности с $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне частот $3\text{...}17\text{ ГГц}$.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что изменение температуры поверхности с $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в большей степени оказывает влияние на значения коэффициентов отражения электромагнитных экранов с пирамидальной формой поверхности, чем электромагнитных экранов с плоской формой поверхности.

На рисунках 2–4 представлены частотные зависимости коэффициентов отражения (в диапазоне частот $0,7\text{...}3\text{ ГГц}$) и передачи ЭМИ (в диапазоне частот $0,7\text{...}17\text{ ГГц}$) экрана №2. На указанных рисунках кривые 1 соответствуют частотным зависимостям экрана при температуре его поверхности, составляющей $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, кривые 2 и 3 – $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

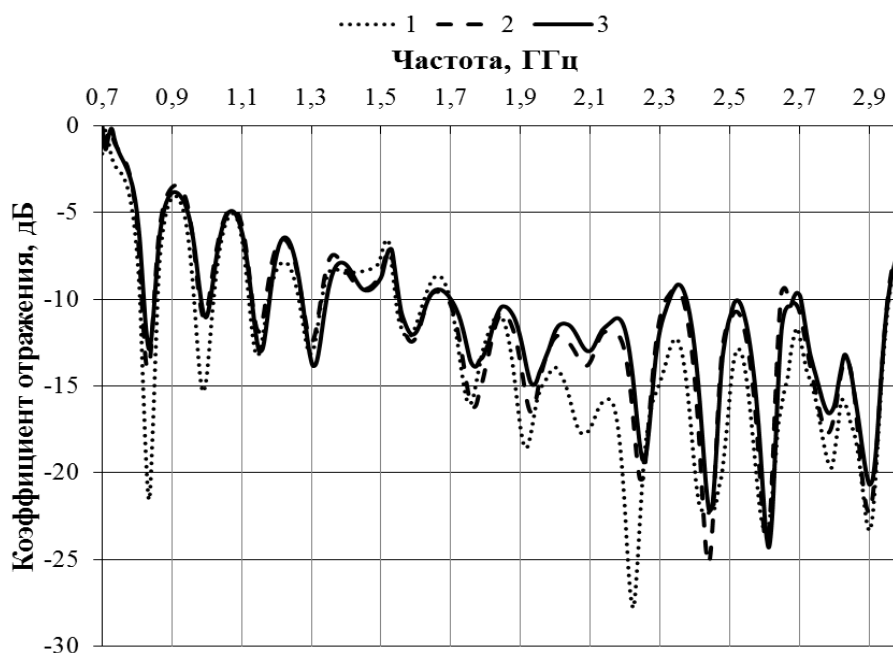


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ экраном с пирамидальной поверхностью в диапазоне $0,7\text{...}3\text{ ГГц}$

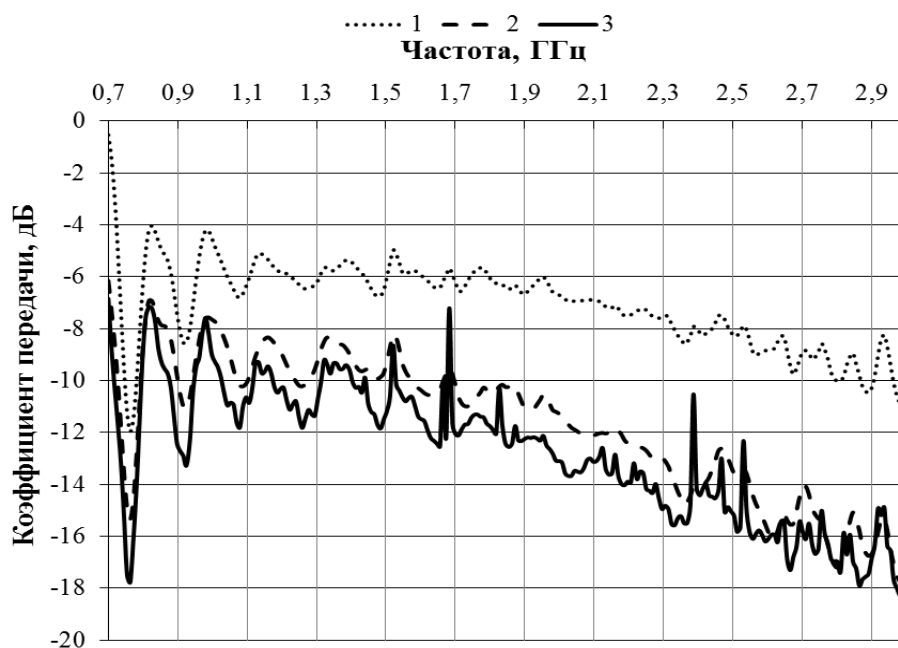


Рисунок 3 – Частотные зависимости коэффициентов передачи ЭМИ экраном с пирамидальной поверхностью в диапазоне 0,7...3 ГГц

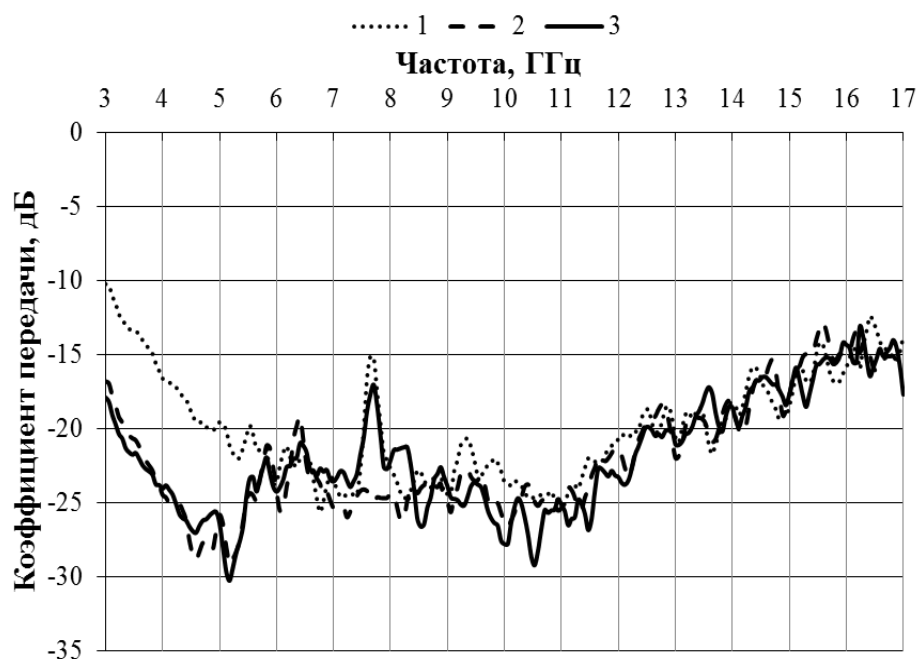


Рисунок 4 – Частотные зависимости коэффициентов передачи ЭМИ экраном с пирамидальной поверхностью в диапазоне 3...17 ГГц

При взаимодействии экрана ЭМИ с электромагнитной волной (ЭМВ) происходит ее поглощение, отражение и изменение поляризации. Количественно явления отражения и поглощения ЭМВ зависят от электрических параметров экранов ЭМИ: диэлектрической проницаемости (ϵ) и проводимости (γ). Исследованные экраны ЭМИ являются сложными диэлектриками, состоящими из твердого (гипсового камня с включениями частиц перлита) и жидкого компонентов (водного раствора хлорида кальция, удерживаемого как в порах гипсового камня, так и в порах перлита). Величины ϵ и γ жидкого компонента при этом существенно больше, чем твердого компонента. Поэтому электрические параметры исследованных экранов ЭМИ определяются, в основном, свойствами водного раствора хлорида кальция.

Согласно [9], температура замерзания 30 %-го водного раствора хлорида кальция составляет -48 °С. Следовательно, при температуре -18 °С содержащийся в исследованных экранах ЭМИ водный раствор хлорида кальция разделен на две фазы: льда и водного раствора хлорида кальция, концентрация которого составляет более 30 % [10]. Значения ϵ и γ воды при частоте взаимодействующих с ней ЭМВ, равной 3 ГГц, составляют соответственно 80 и 5 См/м и превышают аналогичные значения для льда, составляющие соответственно 3,5 и $10^{-4} \dots 10^{-3}$ См/м [11]. Это явление и обуславливает увеличение значений коэффициентов передачи ЭМИ исследованных экранов в диапазоне частот 0,7...6 ГГц по мере снижения температуры их поверхности.

С ростом частоты ЭМВ ϵ и γ воды и льда снижается. Например, при частоте ЭМВ 10 ГГц значения ϵ и γ для воды – 40 и 20 См/м, для льда – 3,2 и

$10^{-4} \dots 10^{-3}$ См/м [11]. Это явление и обуславливает увеличение значений коэффициентов передачи ЭМИ сформированных экранов с ростом его частоты в диапазоне 6...17 ГГц.

Значения коэффициентов отражения исследованных экранов ЭМИ при температуре их поверхности $+18$ °С выше значений аналогичных параметров при температуре -18 °С, т.к. разность волнового сопротивления воздуха и экрана, температура поверхности которого составляет -18 °С, меньше по сравнению с аналогичной разностью для воздуха и экрана, температура поверхности которого составляет $+18$ °С.

Поглощение ЭМИ исследованными экранами связано с релаксационными и поляризационными потерями его энергии, а также потерями на проводимость, обусловленными содержанием в этих экранах влаги, и рассеянием ЭМВ на частицах перлита. Экран ЭМИ с пирамидальной формой поверхности обеспечивает также потери энергии взаимодействующего с ним ЭМИ за счет рассеяния ЭМВ на геометрических неоднородностях [11]. В связи с этим значения коэффициентов передачи ЭМИ исследованного экрана с пирамидальной формой поверхности ниже аналогичных значений для экрана с плоской формой поверхности.

4. Заключение

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование исследованных экранов ЭМИ в условиях температур воздуха, составляющих $+6 \dots +18$ °С (например, для экранирования оборудования, эксплуатируемого в неотопляемых помещениях). При этом на основе таких экранов приемлемо изготавливать специ-

альные защитные корпуса, предназначенные для размещения в них экранируемого оборудования. Кроме того, композиционные перлитосодержащие материалы, использованные для формирования исследованных экранов ЭМИ, могут применяться в процессе изготовления покрытий для наружной облицовки стен экранируемых помещений. Исследованные экраны ЭМИ будут способствовать защите оборудования от внешних электромагнитных воздействий, а также защите информации, которая обрабатывается и хранится с использованием данного оборудования, от утечки по электромагнитному каналу.

Библиографический список

1. Пирумов В.С., Алексеев А.Г., Айзикович Б.В. Новые радиопоглощающие материалы и покрытия // Зарубежная радиоэлектроника. – 1994. – №6. – С. 2–8.
2. Бойправ О.В., Борботько Т.В. Экранирующие электромагнитное излучение материалы на основе цементных растворов и перлита // Материалы X Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами». – Минск, 13 декабря 2013 г. – Минск, 2013. – С. 124–125.
3. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы – новое сырье для стекловарения и строительных материалов / Под общ. редакцией И.И. Мазура. – М. : «НИА Природа», 2002. – 388 с.
4. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
5. Чернышов Е.М., Шमितько Е.И. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов: монография. – Воронеж: ВГАСУ, 2002. – 344 с.

6. Влияние хлорида кальция на гидратацию клинкерных материалов – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://betony.ru/dobavki/vliyanie-hlorida-kalciya.php>. – Дата доступа: 01.03.2014.

7. Денисенко В. Термопары: принципы, применения, разновидности, погрешности измерений // В записную книжку инженера. – 2012. – № 3. – С. 96–98.

8. Бойправ О.В., Борботько Т.В., Лыньков Л.М., Соколов В.Б. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов производства чугуна // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – Выпуск № 67. – 19 с. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=41430>.

9. Хлорид кальция и его свойства. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cniga.com.ua/index.files/calciumchloride.htm>. – Дата доступа: 01.03.2014.

10. Грабарь И.А., Альхамруни Али Абдалла Мухамед, Насонова Н.В., Позняк А.А., Пухир Г.А. Влияние Температуры на характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения гибких водосодержащих экранов // Доклады БГУИР – 2013. – № 7 (77). – С. 96–101.

11. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1975. – 280 с.