

УДК 621.3.083

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Ю.В. СМИРНОВ, Я.Т.А. АЛЬ-АДЕМИ, Т.А. ПУЛКО, Н.В. НАСОНОВА, Л.М. ЛЫНЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 23 июля 2012*

Большинство влагосодержащих экранирующих материалов не отличаются высокой стабильностью экранирующих и эксплуатационных характеристик. Для решения проблемы влагоудержания растворных наполнителей в составе материала-основы предложено использование полимерных гидрогелей на основе полиакриловой кислоты. Установлено, что исследуемые образцы на основе полимерного гидрогеля способны сохранять свои экранирующие характеристики в течение шести месяцев при изменении температуры в пределах  $-15 \dots 50^\circ\text{C}$ .

*Ключевые слова:* экранирование электромагнитного излучения, полимерные материалы, температурная зависимость.

### Введение

Водосодержащие композиционные материалы эффективно подавляют электромагнитное излучение в диапазоне свыше сотен мегагерц за счет диэлектрических потерь воды и растворов на ее основе [1,2]. Для получения экранирующих конструкций используются различные волокнистые и порошковые матрицы с большой удельной пористостью и различным размером пор, позволяющие обеспечить вариацию влагосодержания материала в широких пределах и, таким образом, задавать различные экранирующие характеристики. Управление составом раствора также позволяет получать различные коэффициенты поглощения и отражения энергии ЭМИ [3]. Однако применение жидкой фазы создает проблему фиксации жидкости в объеме используемой пористой основы, особенно при изменении условий эксплуатации, что приводит к усложнению процессов изготовления и эксплуатации экранирующих устройств на их основе.

Использование гигроскопичной соли щелочноземельного металла 45% масс. концентрации позволило достигнуть стабильности экранирующих характеристик независимо от температуры в составе композиционных материалов на основе капиллярно-волокнистых и порошковых материалов [4]. Однако использование этих материалов в качестве основы сужает область применения экранов ЭМИ, что обусловлено их ограниченной впитывающей способностью. Поэтому были выбраны пространственно сшитые полимерные гидрогели с высокой поглощающей и влагоудерживающей способностью.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния температуры на экранирующие характеристики полимерных гидрогелей.

### Теоретическая часть

Гидрогель представляет собой нерастворимую сеть гидрофильных полимеров, способную поглощать воду и биологические жидкости. Основой для создания гидрогелей может служить целый ряд водорастворимых веществ, чаще всего гидрогели состоят из искусственно синтезированных полимеров, белков и природных молекул. Пространственная структура гидроге-

лей является результатом поперечной сшивки полимеров, формирующих в результате нерастворимую структуру в окружающем растворе. По содержанию воды и эластичности гидрогели схожи с биологическими тканями, что обуславливает возможность их широкого применения [5–7].

Характерным свойством пространственно сшитых полимерных гидрогелей является способность к ограниченному набуханию в воде и других полярных жидкостях (до 200–400 мл жидкости на 1 г порошка) (рис.1), синерезису с выделением ранее сорбированной жидкости под действием изменений во внешней среде (рН, температура и др.) [8–10].

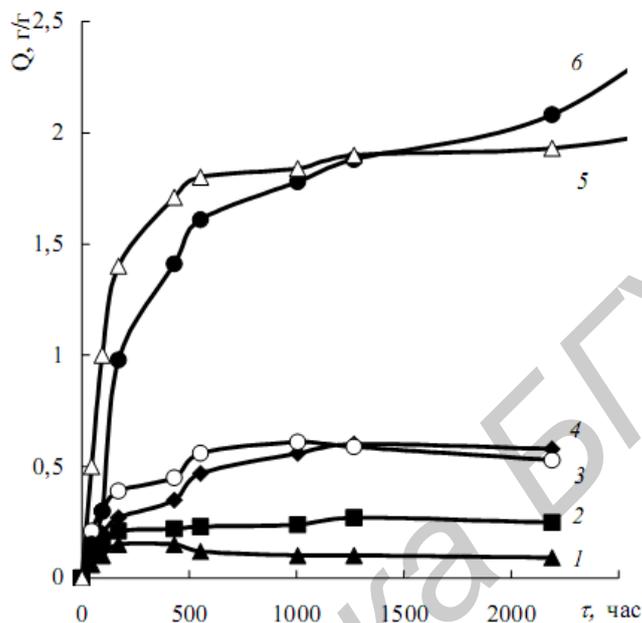


Рис. 1. Кинетика сорбции паров воды (1–4), паров метанола (5) и паров диметилсульфоксида (6) мелкодисперсными сополимерными гидрогелями на основе акриламида (АА) и акриловой кислоты (АК): 1 – АА:АК=1:1; 2 – АА:АК=3:1; 3 – гомополиакриламидный гель; 4–6 – гидрогель на основе полиакриловой кислоты [9]

Изучение деталей процессов набухания дисперсных гидрогелей в воде и других полярных жидкостях, а также процессов адсорбции ими паров растворителей различной природы имеет важное значение при создании водосодержащих экранирующих материалов со стабильными свойствами.

### Эксперимент

На основании проведенного анализа абсорбирующих свойств существующих гидрофильных полимеров, предпочтение было отдано полиакриловой кислоте и ее производным (рис.2).

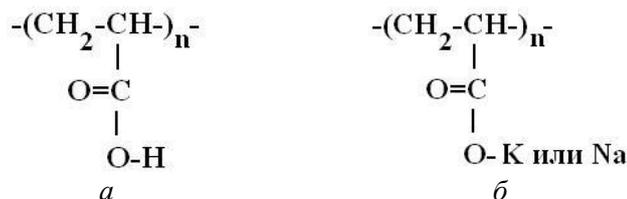


Рис. 2. Химический состав: а – полиакриловой кислоты; б – полиакрилата Na или K [11]

Поскольку нас интересовала зависимость экранирующих свойств выбранных материалов от изменений температуры, состав заполняющего раствора был выбран исходя из состава незамерзающих смесей для понижения температуры замерзания до  $-20^{\circ}\text{C}$  [12]. Были сформированы образцы гидрогеля на основе полиакрилата натрия, содержащего водный 30% спирто-содержащий раствор ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) – первая группа образцов, раствор хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ )– вто-

рая группа образцов, дистиллированную воду – третья группа образцов. В течение 8 часов происходило набухание гидрогеля, после чего они порционно герметизировались в контейнеры из двойных полиамидных и полиэтиленовых пленок, толщиной порядка 3 мм.

Степень набухания образцов определялась гравиметрическим методом и посредством вычисления по формуле

$$Q = \frac{m_n - m_c}{m_c},$$

где  $m_n$  и  $m_c$  – масса равновесно набухшего и высушенного образцов соответственно [13].

Для исследования зависимости экранирующих свойств образцов полимерных материалов от температуры в СВЧ-диапазоне 8,0...11,5 ГГц использовался панорамный измеритель коэффициента стоячей волны (КСВН) и ослабления типа P2 с волноводным измерительным трактом. Образец помещался в разрыв волноводного тракта и оценивался коэффициент передачи тракта с образцом, а также коэффициент отражения при согласованно нагруженном тракте.

Измерение коэффициентов передачи и отражения ЭМИ проводились при комнатной температуре 22°C, затем образцы охлаждались в морозильной камере. По мере снижения температуры образцов до -15°C оценивались их экранирующие характеристики, после чего отводилось время для достижения образцами комнатной температуры. Затем производилось нагревание образцов в лабораторной электропечи СНОЛ 12/13 до температуры 50°C и оценивались их экранирующие характеристики.

### Результаты и обсуждение

Установлено, что в насыщенном солевом растворе исследуемый гидрогель набухал в 5 раз меньше, чем в дистиллированной воде, учитывая, что содержание ионогенных карбоксильных групп в используемом гидрогелевом сополимере в ходе исследований не изменялось и, соответственно, их степень набухания оставалась равновесной (табл. 1).

Таблица 1. Динамика набухания и влагоудержания полимеризованного полиакрилата натрия

№ группы образцов	Увеличение в объеме, раз	Снижение влагосодержания за 6 месяцев, %
1	18	6
2	90	3
3	115	2

Коэффициент отражения ЭМИ образцов гидрогеля с дистиллированной водой при комнатной температуре находится в пределах -3,0...-6,5 дБ при коэффициенте передачи -25...-35 дБ в диапазоне частот 8,0...12,0 ГГц [14]. На подавление ЭМИ основное влияние оказывают диэлектрические потери воды, которая обладает высоким поглощением ЭМИ.

В исследованном диапазоне частот разработанные образцы полимерного гидрогеля при температуре +22°C обеспечивают коэффициент передачи ЭМИ порядка -21...-41 дБ (см. рис.3). Поскольку доля воды в гидрогеле с водным раствором спирта меньше, то и общая диэлектрическая проницаемость материала уменьшается, а коэффициент передачи повышается до -21...-31 дБ. Введение в раствор хлорида натрия приводит к возникновению ионной проводимости в материале, что обуславливает увеличение доли поглощаемой энергии за счет наведения токов проводимости и снижает коэффициент передачи ЭМИ до -31...-41 дБ.

При снижении температуры ниже 0°C эффективность экранирования ЭМИ водой, закрепленной в пористом материале, существенно снижается вследствие перехода воды в другое агрегатное состояние и снижения степени подвижности ее диполей. Однако использование выбранных добавок для понижения температуры замерзания водных растворов препятствует жесткой фиксации молекул воды, хотя и приводит к увеличению коэффициента передачи ЭМИ до -16...-41 дБ (рис.4) при коэффициенте отражения -4,5...-10,5 дБ.

С повышением температуры до +50°C (рис.5) коэффициент передачи тракта с образцом, содержащим дистиллированную воду, повышается до -10 дБ вследствие температурной зависимости диэлектрической проницаемости. Характеристики экранирования (коэффициенты передачи и отражения) полимерных гидрогелей, содержащих растворы хлорида натрия и

$C_2H_5OH$ , находятся в тех пределах, что и результаты измерений при температуре  $+22^\circ C$ , а неравномерность характеристик объясняется погрешностями используемой измерительной установки.

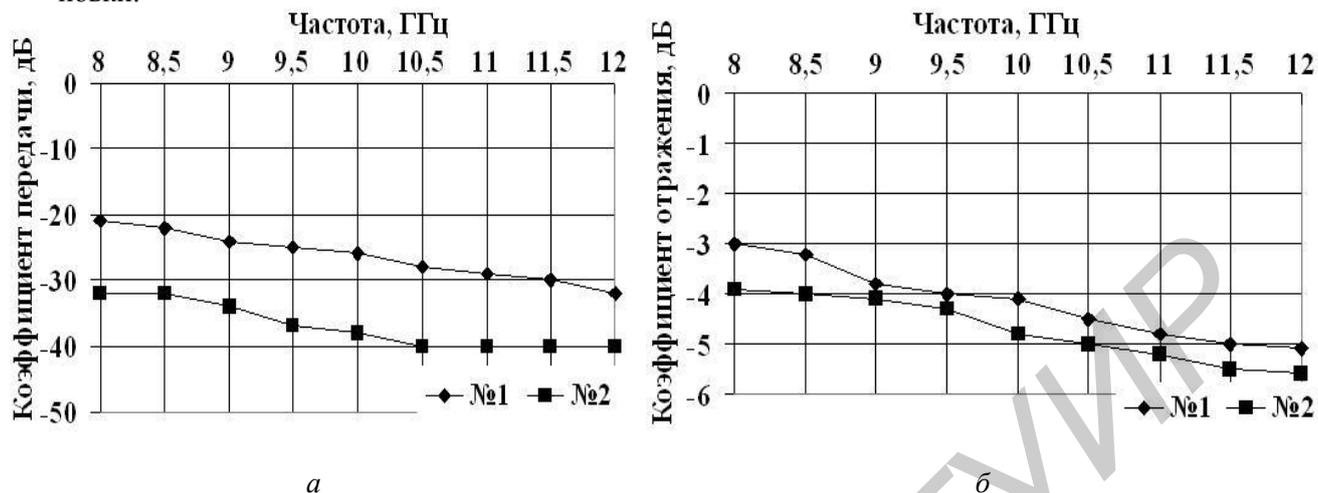


Рис. 3. Коэффициенты передачи (а) и отражения (б) ЭМИ образцами гидрогеля с водным раствором: 1 –  $C_2H_5OH$  (30% об.) 2 – NaCl (30 % масс.) при комнатной температуре  $+22^\circ C$

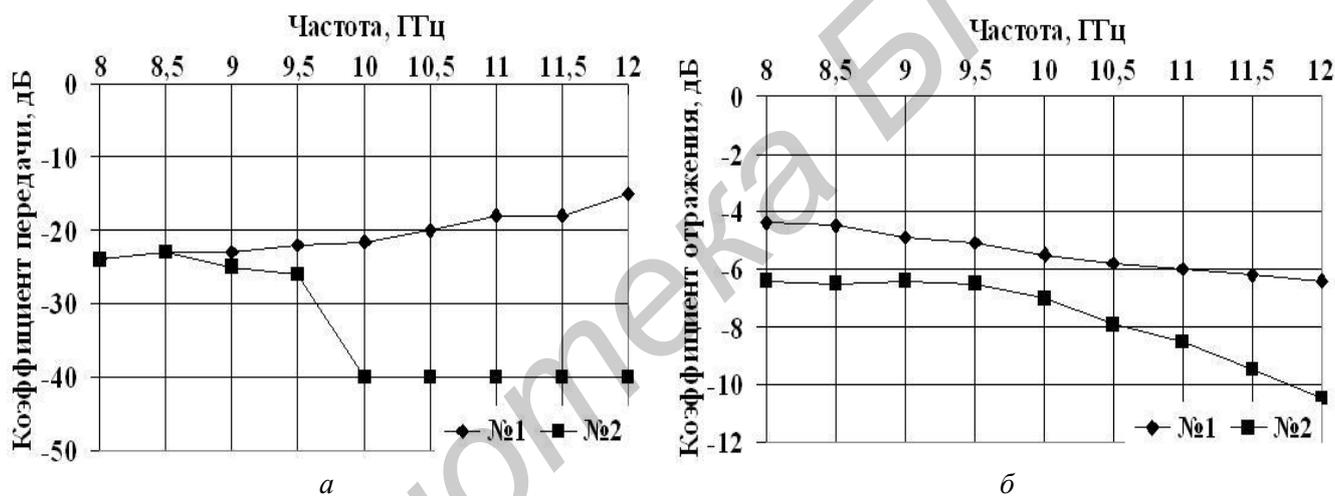


Рис. 4. Коэффициенты передачи (а) и отражения (б) ЭМИ образцами гидрогеля с водным раствором: 1 –  $C_2H_5OH$  (30% об.) 2 – NaCl (30 % масс.) при температуре  $-15^\circ C$

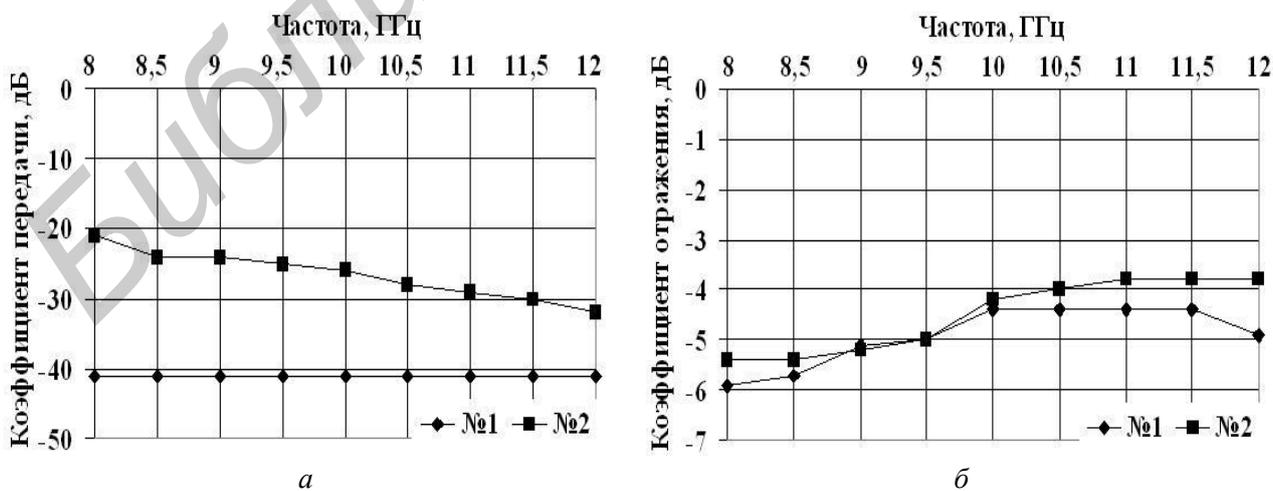


Рис. 5. Коэффициенты передачи (а) и отражения (б) ЭМИ образцами гидрогеля с водным раствором: 1 –  $C_2H_5OH$  (30% об.); 2 – NaCl (30 % масс.) при температуре  $+50^\circ C$

## Заключение

Установлено влияние изменения температуры в пределах  $-15...+50^{\circ}\text{C}$  на экранирующие характеристики полимерных гидрогелей в СВЧ-диапазоне 8...12 ГГц в зависимости от состава используемого растворного наполнителя, что позволяет обеспечить эксплуатацию экранов ЭМИ на их основе для снижения уровней электромагнитного излучения электронной техники, в широком диапазоне температур.

Используемая методика изготовления экранов электромагнитного излучения проста в реализации, не требует применения дорогостоящих материалов и процессов, а получаемые экраны обладают гибкостью, небольшим весом и высокой эффективностью в диапазоне частот 8,0...11,5 ГГц.

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE SHIELDING PROPERTIES OF POLYMER HYDROGELS

Y.V. SMIRNOV, Y.T.A. AL-ADEMI, T.A. PULKO, N.V.NASONOVA, L.M.LYNKOV

### Abstract

Most of water-containing shielding materials are not very stable and shielding performance and operating characteristics can change with air temperature and humidity variation. To solve the problem of solution fillers retention in the porous material we suggest the use of polymer hydrogels based on polyacrylate acid. It is shown that the samples on the basis of the polymer hydrogel keep stable their shielding performance during six month not only at room temperature, but also in terms of temperature change within  $-15^{\circ}\text{C}...+50$ .

### Список литературы

1. Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.П. Глыбин. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения. Минск., 2003.
2. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М. Электромагнитное излучение средств телекоммуникаций. Методы защиты, безопасность организма человека. Минск, 2004.
3. Колбун Н.В., Борботько Т.В., Фан Н. Занг // Телекоммуникации: сеть и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: матер. докладов Международного научн.-техн. семинара. 2004. С. 78–84.
4. Пулко Т.А., Алялябад Х. М., Насонова Н. В. // Инж. вест. 2010, № 2(30). С.32–34.
5. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М., 1978.
6. Huglin M. B., Zakaria M. B. // J. Appl. Polymer Sci. 1983., Vol. 28, № 7. P. 2451.
7. Bernaerts K.V., Fustin C-A., Vomal-D'Haese C. // Macromol. 2008, Vol.41, №7. P. 2593–2606.
8. Бектуров Е.А., Сулейменов И.Э. Полимерные гидрогели. Алматы, 1998.
9. Литманович О.Е., Богданов А.Г., Паписов И.М. // Высокомолек. соед. А. 2001, Т.43, №1. С.135–140.
10. Гросберг А.Ю., Хохлов А.Р. Физика в мире полимеров. М., 1989.
11. Королев Г.В., Могилевич М.М., Голиков И.В. Сетчатые полиакрилаты. Микрогетерогенные структуры, физические сетки, деформационно-прочностные свойства. М., 1995.
12. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Спр. пособие. М., 1981.
13. Самченко Ю.М., Пасмурцева Н.А., Альтицулер М.А. // Катализ и нефтехимия 2007, №15. С. 16–20.
14. Смирнов Ю.В., Пулко Т.А. // Технические средства защиты информации: матер. докладов X Белорусско-российской научн.-техн. конференции. 2012. С. 75.