

УДК 577.3:57.086.8

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Колесников В.Г.¹, Хмель Н.В.¹, Хмель С.И.²

¹Институт радиопизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, Харьков, Украина
 e-mail: dreval@ire.kharkov.ua

²Харьковский подшипниковый завод, Харьков, Украина

Надійшла до редакції 10.09.2012

Проведено исследование реальной части (ϵ') комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ^*) смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) типа «Тепол». Показано, что в области дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды (на частоте $f = 37,5$ ГГц) имеются различия в гидратации компонентов свежеприготовленной и рабочей СОЖ. Данные различия вероятнее всего связаны с биологическим загрязнением СОЖ.

Ключевые слова: биологическое заражение, смазочно-охлаждающая жидкость, КВЧ-диэлектрометрия, комплексная диэлектрическая проницаемость.

ВВЕДЕНИЕ

Активное освоение и использование радиоволн миллиметрового диапазона частот на протяжении многих десятилетий является определяющим фактором современных технологических процессов различных областей народного хозяйства. КВЧ диапазон электромагнитных волн эффективно применяется в методиках прогнозирования, диагностики и терапии в клинической медицине [1-3]. На основе волн миллиметрового диапазона развиваются новые технологии в сельском хозяйстве [4] и экологии [5]. Использование КВЧ - диапазона обусловлено наличием области дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды и, следовательно, возможностью анализировать как состояние гидратного окружения клеточных структур, так и возможностью прогнозировать конформационные изменения биологических макромолекул при различных физико-химических воздействиях [6].

В металлообрабатывающей промышленности при механической обработке жаропрочных, жаростойких, коррозионно-стойких и других труднообрабатываемых сталей и сплавов повсеместно используются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), сложный механизм действия которых сводится, как к уменьшению процессов пластической деформации металла, шероховатости его поверхности при обработке, так и к уменьшению трения, изнашивания и разрушения структуры металла, а также инструмента [7, 8]. Повышение качества многокомпонентного состава различных СОЖ продиктовано, помимо продления эксплуатационных

характеристик, в первую очередь, санитарно-гигиеническими нормами, отклонение от которых приводит к развитию аллерго-дерматологических, пульмонологических и др. нарушений гомеостаза организма человека, вызванных биологическим заражением СОЖ.

За счет поверхностно-активных эмульгаторов в составе СОЖ, которые являются благоприятной основой для контаминации микрофлорой, через непродолжительный отрезок времени (в течение месяца) в СОЖ падает значение рН, что приводит к коррозии и неприятному запаху. Биологическое заражение, в основном, вызвано аэробными и анаэробными (сульфатовосстанавливающими) бактериями, плесневыми грибами, микроорганизмами (моллюсками, ракушками), а также микроводорослями. Одна из проблем заключается в трудности слежения за сменой поколений бактерий и других контаминирующих агентов. В первую очередь, биопоражение СОЖ характеризуется активным функционированием комплекса грамотрицательных бактерий, которые осуществляют биодеградацию жидкости вплоть до её полной деструкции. Бактерии рода *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Desulfovibrio desulfuricans* имеют наибольшее значение в микробном сообществе различных смазочно-охлаждающих жидкостей [9].

Оценка эксплуатационных свойств СОЖ играет решающую роль в эффективности и рентабельности её использования и производится как на стадии разработки новых композиций, так и при моделировании условий их применения, с учетом наличия солей жёсткости воды, минерального масла, механических примесей и др. При этом качество СОЖ

проверяется методами текущего контроля (визуальный, органолептический, рефрактометрический и др.) с целью своевременной корректировки физико-химических и микробиологических показателей рабочих эмульсий.

Комплексная диэлектрическая проницаемость входит в состав параметров, определяющих качество различных жидкостей, что и задаёт цель настоящей работы, заключающейся в изучении диэлектрических характеристик СОЖ в процессе эксплуатации на предмет биологического заражения для разработки методики возможных путей продления биостабильности СОЖ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте были использованы свежеприготовленные и рабочие образцы СОЖ типа «Тепол», предоставленные химико-технологической лабораторией ОАО «Харьковский подшипниковый

завод». По результатам анализа, СОЖ для механической обработки металлов содержала эмульгаторы на основе триэтаноламинового мыла жирных кислот растительных масел, модифицированные жирные кислоты, многоатомные спирты, минеральное масло, а также пеногаситель; все компоненты растворены в воде (табл. 1).

В процессе эксплуатации СОЖ химико-технологической лабораторией оценивались концентрация, характеризующая степень смазочной способности СОЖ, или концентрация масла в эмульсии (в %), биостойкость (в баллах), определяющая долговечность эксплуатации, стабильность физико-химических свойств, отсутствие запаха. Кроме того, контролировалось содержание механических примесей (не более 500 мг/л), а также проводилось коррозионное испытание и измерения рН жидкости, на изменение которого оказывает влияние рост бактериальной микрофлоры.

Таблица 1

Состав и соотношение компонентов СОЖ типа «Тепол» для механической обработки металлов

№ п/п	Название компонента СОЖ	Соотношение компонентов, мас. %
1	Эмульгаторы на основе триэтаноламинового мыла жирных кислот растительных масел	30 – 35 %
2	Модифицированные жирные кислоты	35 – 40 %
3	Многоатомные спирты (глицерин)	15 – 20 %
4	Минеральное масло	10 – 12 %
5	Пеногаситель	3 – 4 %
6	Вода	7 – 10 %

Измерения диэлектрических параметров было проведено на аппаратном комплексе, содержащем миллиметровую часть (КВЧ-диэлектрометр) с

волноводным и генерирующим звеньями, а также регистрационная часть (ПК и ПО) (рис. 1).

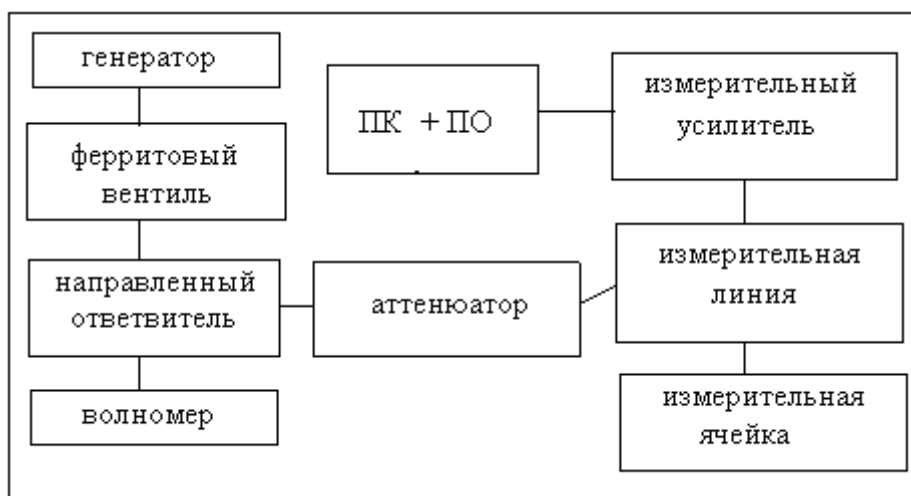


Рис. 1. Блок-схема устройства КВЧ-диэлектрометра, модифицированного для измерения диэлектрической проницаемости жидкостей.

Объем образцов СОЖ, помещённых в измерительную ячейку составил не более $V = 15$ мкл. Фиксированная частота генератора радиоволн КВЧ-диапазона ($f = 37,5$ ГГц) входит в область дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды. Геометрические размеры измерительных волноводных кювет (сечение волновода 5,2 мм x 2,6 мм), позволили в режиме реального времени оценивать диэлектрические свойства СОЖ. При этом параметры комплексной диэлектрической проницаемости измеряли по смещению минимума стоячей волны в миллиметровом волноводе по отношению к двойному контролю, в качестве которого были использованы дистиллированная вода

и свежеприготовленная СОЖ. Точность относительных измерений по ε' составила $\Delta = \pm 1 \%$; абсолютных $\pm 3,5 \%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выполнении эксперимента были исследованы три группы образцов СОЖ типа «Тепол», характеристики которых приведены в таблице 2. На рисунке 2 представлен график изменения концентрации масла в эмульсии «Тепол» в зависимости от времени эксплуатации.

Таблица 2

Химико-технические характеристики СОЖ типа «Тепол» в зависимости от времени эксплуатации

Характеристика	Контроль (свежеприготовленная СОЖ)		Опыт №1 (10 дней эксплуатации)		Опыт №2 (25 дней эксплуатации)	
	«Тепол» №1	«Тепол» №2	«Тепол» №1	«Тепол» №2	«Тепол» №1	«Тепол» №2
рН	8,1	8,8	8,8	9,5	8,6	8,5
Коррозионное испытание	выдерж.	выдерж.	выдерж.	невыдерж.	выдерж.	невыдерж.
Механические примеси (мг/л)	190	190	220	250	210	230
Биостойкость (балл)	3	3	3	2	2	1

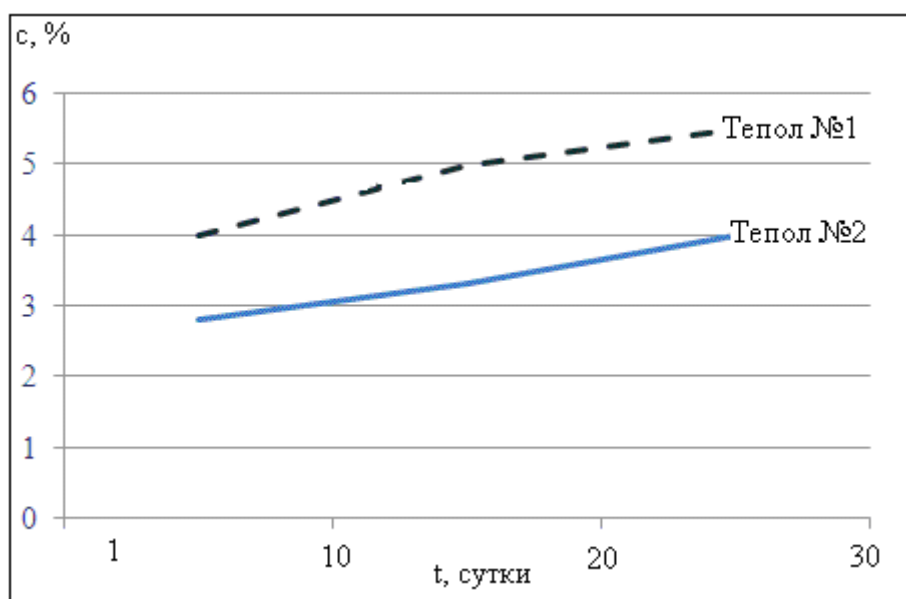


Рис. 2. Изменения концентрации масла в эмульсии СОЖ типа «Тепол» в зависимости от времени эксплуатации при механической обработке металла.

Как видно из рис. 2, в образцах СОЖ концентрация масла в эмульсии увеличивалась во время эксплуатационного периода, при этом в период до 15 суток наблюдалось повышение уровня рН, затем следовало снижение рН и уменьшение смазочной способности СОЖ. Исходя из данных работы [10], вероятнее всего, этот факт связан с биологическим фактором, вызывающим необратимое изменение физико-химических свойств СОЖ под воздействием микроорганизмов. Присутствующие в СОЖ сульфатвосстанавливающие бактерии осуществляют восстановление сульфатов, используя последние в качестве акцептора электронов в анаэробных условиях при окислении органических соединений. Окисление идет всегда неполное, конечным продуктом является ацетат. Кроме того, при бактериальном восстановлении сульфатов происходит накопление в среде сероводорода и сульфидов. При этом размножение, как анаэробных сульфатредуцирующих бактерий, так и грибковое поражение приводило к сокращению срока эксплуатации СОЖ на 1-3 недели, в течение которых

достигалось превышение предельно допустимого содержания микрофлоры, в случае микроорганизмов свыше 10^5 кл/мл [11].

Известно, что физической основой метода КВЧ-диэлектротрии является отличие диэлектрической проницаемости связанных в макромолекулах молекул воды от диэлектрической проницаемости свободной воды [12]. При этом в области дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды ($f = 10 \div 50$ ГГц) наиболее выражены изменения действительной части (ϵ') комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ^*) воды, как структурированной в белковых комплексах мембраны клеток молекул связанной воды, так и находящейся на расстоянии более чем 10 \AA от гидратационного центра молекул свободной воды.

На рисунке 3 представлены результаты обработки диэлектрических характеристик образцов СОЖ, а также изменение биостойкости эмульсии в зависимости от времени эксплуатации.

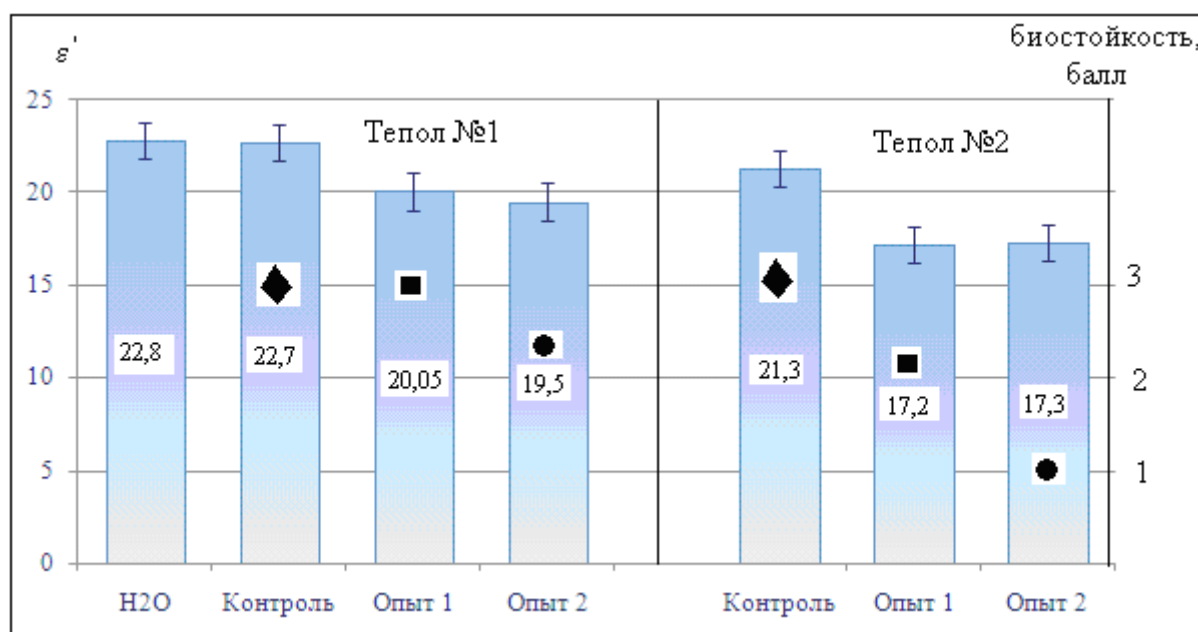


Рис. 3. Изменение реальной части ϵ' комплексной диэлектрической проницаемости и биостойкости СОЖ в контрольных (◆) и опытных образцах (■ - опыт 1, ● - опыт 2).

Как видно из рис. 3, в процессе механической обработки металла, диэлектрические характеристики контрольных и опытных образцов СОЖ отличаются по параметру ϵ' , при этом в рабочих образцах, по сравнению с контрольными, увеличивается количество связанной воды. Установленным фактором, определяющим коллоидную стабильность СОЖ, является соотношение полярности, выраженное через диэлектрическую проницаемость ПАВ-стабилизатора и дисперсионной среды, что может динамически изменяться в процессе микробной контаминации. При этом отмечено, что увеличение

количества связанной воды в опытных образцах сопровождается уменьшением биостойкости СОЖ.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что реальная часть (ϵ') комплексной диэлектрической проницаемости является маркером в определении качества СОЖ в процессе механической обработки металла, и может служить параметром контроля в реальном масштабе времени.

2. Уменьшение величины ϵ' может быть связано с увеличением доступных сайтов связывания по типу

водородной связи макромолекулярных комплексов мембраны клеток микрофлоры СОЖ, и является интегральным следствием активного биологического заражения СОЖ в процессе эксплуатации.

Литература

1. Щеголева Т. Ю., Колесников В. Г., Васильева Е. В., Васильев Ю. М. Применение миллиметрового диапазона радиоволн в медицине.- Х.: ХИМБ, 1999.- 233 с.
2. Сидоров Д. Ю. Состояние адренорецепторов тромбоцитов у пациентов с гипертонической болезнью по данным КВЧ-дieleктрометрии // Украинский терапевтический журнал.- 2001.- Т.3, №4.- С. 51-56.
3. Корнаухов А. В., Анисимов С. И., Мезенцев В. П. // Влияние спектра низкоинтенсивного электромагнитного излучения на эффективность КВЧ-терапии // Вестник Нижегородского университета. Серия: Биологические науки.- 2003.- Вып. 1(6).- С. 25 – 31.
4. Зубец М. В., Щеголева Т. Ю., Колесников В. Г. Применение волн миллиметрового диапазона в сельском хозяйстве.- Киев: Аграрная наука, 1996. – 162 с.
5. Паришкова Т. В., Щеголева Т. Ю., Колесников В. Г., Древаль Н. В. Використання КВЧ - діелектрометрії для оцінки фізіологічного стану мікрободоростей // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Серія: Біологічні науки.- 2003.- № 39-41.- С. 80 - 82.
6. Древаль Н. В. Применение миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн и их комбинации в исследовании биологических объектов: дис...канд. биол. наук: 03.00.02 / Древаль Наталия Владимировна.- Симферополь, 2009.- 163 с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / [под ред. С.Г. Энтелис].- М.: Машиностроение, 1986.- 352 с.
8. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ.- М.: Машиностроение, 1975.- 88 с.
9. Громов Л.М. Влияния абиотических факторов на экологию микробных сообществ смазочно-охлаждающих жидкостей // дис...канд. биол. наук: 03.00.07 / Громов Леонид Михайлович.- Ульяновск, 2002.- 133 с.
10. Шулаев М. В. Научные основы обезвреживания жидких отходов гальванических и металлообрабатывающих производств с использованием анаэробной биосорбционной технологии: дис...док. технич. наук: 03.00.16 / Шулаев Максим Вячеславович.- Казань, 2009.- 292 с.
11. Горчаков П. А. Исследование ингибирующих свойств биоцидных присадок в производстве экологически безопасных смазочно-охлаждающих жидкостей: дис...канд. химич. наук: 03.00.16 / Горчаков Петр Александрович.- Москва, 2004.- 129 с.
12. Ахадов Я. Ю. Диелектрические свойства чистых жидкостей.- М.: Издательство стандартов, 1972.- 412 с.

ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОГО ЗАРАЖЕННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ В МІЛІМЕТРОВМУ ДІАПАЗОНІ РАДІОХВИЛЬ

Колесніков В.Г., Хмель Н.В., Хмель С.І

Проведено дослідження реальної частини (ϵ') комплексної діелектричної проникності (ϵ^*) мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) типу «Тепол». Показано, що в області дисперсії діелектричної проникності вільної води (на частоті $f = 37,5$ ГГц) є різниця в гідратації компонентів свіжоотриманої та робочої МОР.

Ключові слова: біологічне зараження, мастильно-охолоджувальна рідина, НВЧ-діелектрометрія, комплексна діелектрична проникність.

ESTIMATION OF BIOLOGICAL CONTAMINATION OF LUBRICOOLANT IN MILLIMETER RANGE OF RADIO WAVES

Kolesnikov V.G., Khmel N.V., Khmel S.I.

The research of the real part (ϵ') of lubricoolant permittivity (ϵ^*) of the "Tepol" type was carried out. It is shown the difference in hydration between make-up and process solution in the field of free water dispersion (frequency $f = 37,5$ GHz).

Key words: biological contamination, lubricoolant, EHF-dielectrometry, permittivity.