

УДК 577.3:57.086.8

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОНТАМИНАЦИИ МИКРОФЛОРОЙ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

*Хмель Н.В.*

*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, Харьков, Украина  
E-mail: dreval@ire.kharkov.ua*

Проведено исследование диэлектрической проницаемости и поверхностного натяжения смазочно-охлаждающих жидкостей при лазерной экспозиции свежеприготовленных и отработанных образцов. Применение частот акустического диапазона ( $f = 1000 \div 2000$  Гц) позволило регистрировать отличия в электромагнитном отклике микрофлоры контрольных и опытных образцов отработанной СОЖ. Увеличение количества свободной воды в системе СОЖ-микрофлора делает возможным применения лазерного излучения терагерцового диапазона в металлообрабатывающей промышленности для санации СОЖ в процессе её эксплуатации.

**Ключевые слова:** лазерное излучение терагерцового диапазона, диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение, СОЖ, микрофлора.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема борьбы с биологическим заражением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) актуальна и связана со сроками их эксплуатации. В мировой металлообрабатывающей промышленности интенсивно проводятся мероприятия по минимизации затрат на СОЖ, увеличивая сроки её службы путем применения различных технологических приёмов, включающих регенерацию компонентов СОЖ, а также разработку современных установок санации.

Основной из многих эксплуатационных проблем, непосредственно связанных с качеством СОЖ, является повышение эколого-токсикологической опасности, связанной с быстрым биопоражением жидкости, характеризующимся изменением в балансе физико-химических и биологических параметров жидкости. Это является одной из основных причин алерго-дерматологического раздражения кожных покровов, при этом условия в рабочей зоне несовместимы с нормами безопасности персонала.

Среди многочисленных методов воздействия на микрофлору СОЖ выделяют гравитационно-флотационные, основанные на использовании установок, оснащенных озонаторными устройствами для выработки озono-воздушной смеси из атмосферы окружающего воздуха для обеззараживания от бактерий. Магнитные методы основаны на разделении веществ по их магнитным свойствам. Одновременно в магнитном аппарате с импульсным магнитным полем низкочастотного диапазона ( $f = 2 \div 30$  Гц) производится очистка от бактериальной флоры, физический смысл которой связан с существованием так называемых

«частотно-амплитудных окон», внутри которых проявляются реакции биообъектов, а вне их – отсутствует. При этом бактерицидное действие магнитного поля зависит от частоты следования и формы импульсов, напряженности и градиента напряженности магнитного поля, времени обработки, а также резистентности микроорганизмов [1]. Метод аэрации обрабатываемой жидкости, основанный на насыщении СОЖ пузырьками воздуха, находит менее активное применение, так как с его помощью подавляется жизнедеятельность только анаэробных микроорганизмов, не затрагивая рост и развитие аэробных бактерий, грибов и микроводорослей. Показана возможность применения природной сине-зеленой глины, как активированной загрузки фильтров для очистки СОЖ, позволяющей продлить сроки эксплуатации СОЖ в технологических линиях металлообработки, но данный метод требует дополнительных исследований [2].

Неоднозначно также применение биоприсадок и биоцидных добавок, которые, с одной стороны, оказывают бактерицидное действие на микрофлору, а, с другой стороны, дезорганизуют структуру самой обрабатываемой жидкости, ухудшая при этом органические показатели СОЖ. Так, в аспекте оценки поверхностного натяжения СОЖ, являющегося одним из основных параметров, определяющих диспергируемость и стабильность эмульсионной металлообрабатываемой жидкости, рассмотрены композиции присадок с различными производными органических кислот [3]. Теоретические расчеты краевого угла смачивания, силы адгезии и др. параметров СОЖ показали возможность создания системы СОЖ обладающей высокой стабильностью при длительном хранении, антикоррозионными, бактерицидными, смачивающими и другими полезными свойствами; при этом многие практические вопросы остались открытыми.

Электромагнитное излучение *КВЧ*-диапазона радиоволн используется для оценки биологического заражения СОЖ по анализу диэлектрической проницаемости ( $\epsilon'$ ) металлообрабатываемых жидкостей [4]; при этом на частотах дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды ( $f = 37,7$  ГГц) наблюдались наиболее выраженные изменения  $\epsilon'$  в реакциях взаимодействия СОЖ-биообъект. Терагерцовое излучение дальнего инфракрасного диапазона может иметь свои преимущества в решении проблемы контаминации СОЖ, связанные с его энергетическими характеристиками. Так, энергия излучения, исходящая от газового *HCN*-лазера ( $f = 0,7 \div 20$  ТГц), приближается к энергии водородных связей рецепторных комплексов мембраны клетки. Известно, что энергия водородной связи в белковых комплексах находится в пределах  $h\nu = 0,9 \times 10^{-2} \div 8,7 \times 10^{-2}$  эВ, энергия кванта излучения *HCN*-лазера на длине волны  $\lambda = 0,3 \div 0,03$  мм составляет  $h\nu = 0,39 \times 10^{-2} \div 3,9 \times 10^{-2}$  эВ [5].

Поэтому целью исследования является изучение воздействия терагерцового излучения на микрофлору СОЖ для увеличения периода рабочего цикла обрабатываемой жидкости.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материала исследования использовались свежеприготовленные и отработанные образцы СОЖ типа «Тепол», физико-химические и биологические характеристики которой приведены в экспериментальной части работы [4].

Оценивались поверхностное натяжение и диэлектрическая проницаемость контаминирующую СОЖ микрофлоры в контрольных (необлученных) и опытных (облученных) образцах. Облучение образцов проводилось терагерцовым цианистоводородным *HCN*-лазером, экспозиция длилась  $t = 60$  мин., частота излучения составила  $f = 0,89$  ТГц при мощности излучения  $P = 8$  мВт. При анализе поверхностного натяжения жидкости контрольных и опытных образцов использовалась акустическая модуляция в «sweep»-режиме открытой пьезо-кюветы ( $V_{\text{кюветы}} = 308$  мкл), расположенной на выходе волноводного 8-мм измерительного тракта (рис. 1); частота модуляции пьезо-кюветы задавалась в диапазоне  $f = 1000 \div 2000$  Гц. Калибровка при определении поверхностного натяжения осуществлялась с помощью водно-спиртовых растворов разных концентраций с учетом температурного коэффициента.

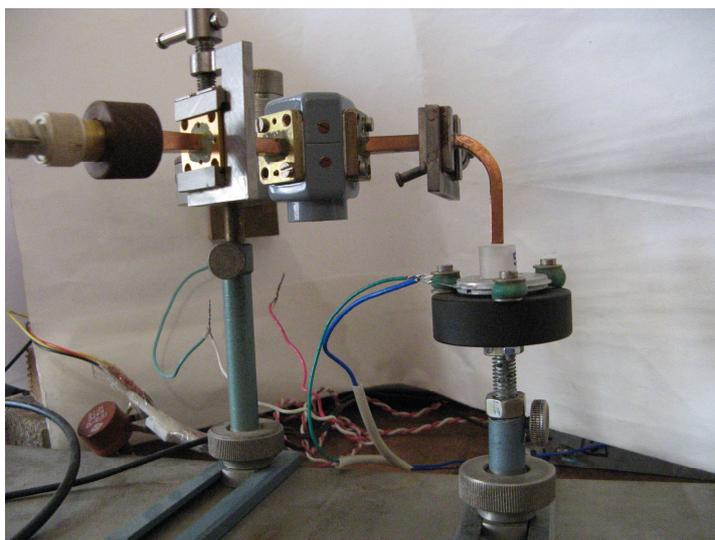


Рис. 1. Узел аппаратурно-регистрающего комплекса с открытой пьезо-кюветой, расположенной на выходе 8-мм измерительного тракта.

Одновременно с воздействием акустических частот проводился анализ изменения гидратации живых компонентов СОЖ в контрольных и опытных образцах на частоте  $f = 37,7$  ГГц по относительным изменениям количества свободной и связанной воды с помощью аппаратурно-регистрающего комплекса [6]. Точность относительных измерений по  $\epsilon'$  составила  $\Delta = \pm 0,5$  %; абсолютных  $\pm 3,5$  %.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе обработки экспериментальных данных были получены значения реальной части комплексной диэлектрической проницаемости СОЖ, а также поверхностного натяжения жидкости в контрольных и опытных образцах (табл. 1).

**Таблица 1**

**Диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon'$ ) и поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) СОЖ в опытных и контрольных образцах ( $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Параметры	Свежеприготовленная СОЖ		Отработанная СОЖ	
	контроль	опыт	контроль	опыт
$\epsilon'$	21,2	19,5	17,0	18,5
$\sigma$ , дн/см	63,5	57,0	49,0	53,5

Диэлектрическая проницаемость на частотах дисперсии свободной воды ( $f = 7$  ГГц  $\div$  50 ГГц) является параметром, который определяет интегральный уровень гидратации биологической системы. Биологическое загрязнение СОЖ, в основном, определяется аэробными и анаэробными бактериями, а также микроводорослями, вызывающими необратимое изменение физико-химических свойств металлообрабатывающей эмульсии [7]. Исходя из этого, регистрация изменения параметра  $\epsilon'$ , в целом, является информативным параметром состояния гидратации микрофлоры, который может служить маркером биологического загрязнения системы СОЖ. Согласно данным таблицы 1, существенной разницы в параметрах гидратации контрольных и опытных образцов свежеприготовленной СОЖ не наблюдалось. Эффект чувствительности микрофлоры был отмечен при экспозиции отработанной СОЖ под источником терагерцового излучения. При этом по данным КВЧ-диэлектromетрии наблюдалось увеличение параметра  $\epsilon'$ , что является следствием увеличения количества свободной воды в системе СОЖ-микрофлора.

Режим акустической модуляции пьезо-кюветы в «sweep»-режиме частот  $f = 1000 \div 2000$  Гц создает условия существования внутренних гидродинамических роторов капиллярной природы, позволяющих исследовать поверхностное натяжение именно СОЖ в рабочем состоянии, в отличие от статического режима, когда наблюдается расслоение раствора СОЖ. Поверхностное натяжение определяется, в нашем случае, интегралом в диапазоне акустических частот  $f = 900 \div 2100$  Гц при воздействии акустических волн на СОЖ. При сравнении контрольных и опытных образцов отработанной СОЖ отмечалось увеличение электромагнитного отклика (при частотном анализе быстрого Фурье-преобразования) в средней части акустического воздействия ( $f = 1500 \div 1700$  Гц). Это обусловлено появлением в отработанной СОЖ среднеразмерных «кластеров», отвечающих, в конечном итоге, за интегральное увеличение значения  $\epsilon'$ . Терагерцовое излучение, возможно, способствовало угнетению жизнедеятельности микрофлоры СОЖ и частичному восстановлению изначальных гидратационных параметров металлообрабатывающей жидкости.

На рисунке 2 показаны сдвиги хода электромагнитного отклика отработанной облученной СОЖ от такового необлученной.

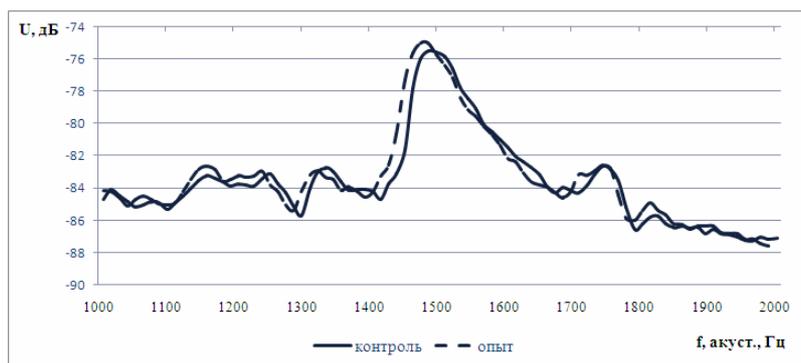


Рис. 2. Электромагнитный отклик (U) контаминирующей СОЖ микрофлоры в зависимости от частоты модуляции акустических волн в контрольных и опытных образцах отработанной СОЖ

Из рисунка видно, что в минимумах стоячих волн, и в максимумах бегущих волн наблюдали изменение электромагнитного сигнала микрофлоры облученных образцов СОЖ, которое в некоторых точках достигало отличия в  $\sim 10$  Гц со стабильным сдвигом в низкочастотную акустическую область. Регистрация таких повторяющихся изменений сигнала, в экспериментально определенном акустическом диапазоне частот, может служить информативным маркером качественной оценки биологического заражения на период рабочего цикла прокачки обрабатываемой жидкости.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Лазерное излучение терагерцового диапазона электромагнитного спектра оказывает существенное воздействие на микрофлору смазочно-охлаждающих жидкостей, что регистрируется на частотах дисперсии диэлектрической проницаемости свободной воды. При этом физический смысл взаимодействия заключается в соизмеримости энергетических характеристик излучения с энергией водородных связей клеточной системы.
2. Увеличение значения интегрального параметра гидратации ( $\epsilon'$ ) в образцах отработанной СОЖ после лазерной экспозиции является следствием увеличения количества свободной воды в системе СОЖ-микрофлора, что связано с ингибированием процессов жизнедеятельности микрофлоры.
3. Применение акустических частот одновременно с воздействием терагерцового излучения позволило выявить сдвиги электромагнитного сигнала до 10 Гц, что может быть использовано, как качественная характеристика контроля уровня биологического заражения СОЖ.

#### Список литературы

1. Тыртыгин В.Н. Повышение эффективности процесса очистки промышленного сырья от парамагнитных примесей магнитным методом: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.17.08 / В.Н. Тыртыгин.– Иваново, 2010.– 16 с.