

В продолжение работ [1, 2] по исследованию очистки водомасляных эмульсий изучалось влияние импульсного электромагнитного поля (ИЭП) крайне низкочастотного (КНЧ) диапазона на микрофлору смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В процессе эксплуатации эмульсия СОЖ загрязняется микроорганизмами. Характерными признаками микробиологического поражения СОЖ является выделение сероводорода (второй класс опасности) и других сопутствующих газов, обладающих неприятным запахом. СОЖ с устойчивым неприятным запахом даже при высоких технологических характеристиках непригодна для применения и должна быть заменена [3]. Запах СОЖ является одним из контролируемых показателей, определяемый по специальной методике органолептической и напрямую связан с концентрацией в ней бактериальной флоры, характеризуемой общемикробным числом (ОМЧ). До настоящего времени для снижения концентрации микроорганизмов в СОЖ вводятся биоприсадки. Однако, высокая стоимость и дефицитность биоприсадок, а также специфические эффекты, связанные с вводом последних в эмульсию СОЖ (резкий запах, раздражение кожи и т.д.) обуславливают поиск новых средств воздействия на микрофлору СОЖ. Одним из таких средств воздействия на микрофлору является использование электромагнитного импульсного поля. Бактерицидное влияние электромагнитного поля на микробиологические объекты, находящиеся в водной среде, описывалось многими авторами: Классен В.И., Кульский Л.А., С.И., Шахов А.И., Душкин С.С., Сандуляк А.В, Журавлев С.Г, Карелин А.Я., Хабаров О.С., Бинги В.Н. и другие [4-15]. Основные эффекты, возникающие под действием магнитного поля – поляризация клеточных структур, изменение мембранных потенциалов, локальный нагрев клетки, пробой мембраны клетки и т.д., что в конечном итоге ведет к торможению скорости роста и деления клеток и их гибели. Как отмечают, например, Классен В.И., Бинги В.Н. и др., бактерицидный эффект магнитного поля более выражен при слабых магнитных полях. Так же отмечается, что бактерицидное действие магнитного поля зависит от частоты следования и формы импульсов, напряженности и градиента напряженности магнитного поля, времени обработки, резистентности (сопротивляемости) микроорганизмов и т.д. На наш взгляд, особый интерес представляет действие на микрофлору импульсного электромагнитного поля крайне низкочастотного диапазона (2-30) Гц. Это связано в первую очередь с существованием так называемых "частотно-амплитудные окна", внутри которых есть реакция биообъекта, а вне их – отсутствует. Такие частоты называли биоэффективными диапазон этих частот лежит от 0,3 до 30 Гц. [5. Для решения поставленной задачи использовались модели действия магнитных полей на биологические системы, методы экспериментальных исследований. Эксперименты проводились на лабораторной установке, принципиальная схема которой показана на рис. 1. Напряженность (индукция) магнитного поля во всех опытах составляла 4 кА/м

(0,05 Тл). Частота следования импульсов - 2 и 10 Гц. Исследованиям подвергалась водомасляная эмульсия СОЖ типа ВЭЛС-1 (ТУ 38612137-89). Методика проведения экспериментов заключалась в следующем: из действующей технологии механосборочного производства отбирались пробы водомасляной эмульсии СОЖ, объемом 200-250 мл. Пробы отбирались в стерилизованную посуду. Анализ проб на ОМЧ проводился по методике ВНИИНЕФТЕХИМ и ГОСТ 189669-73 до и после обработки в магнитном поле. Пробы, прошедшие магнитную обработку анализировались через 18 часов после завершения экспериментов. Установка состоит из двух частей: источник питания 2 (генератор импульсных токов (ГИТ)) и индуктора 3. В индуктор, вставлялась труба (камера) 4 из немагнитного материала. Сверху, через воронку 1 в трубу диаметром подавали предварительно перемешанную СОЖ, объемом примерно 100 мл. Скорость регулировалась вентилем 5 и ограничителями потока 6, представляющими собой насадки с определенным диаметром отверстия. Обработанная СОЖ собиралась в емкость 7, отбиралась в стерилизованную посуду, и далее передавалась на анализ - на ОМЧ и коли-индекс. Скорость истечения эмульсии определялось стандартным методом - по времени наполнения определенного объема. Напряженность импульсного магнитного поля в соленоиде - расчетное значение. Сила тока и время разряда рассчитывались по осциллограмме импульса, полученной на двухканальном осциллографе типа С1-117. Рис. 1 - Принципиальная схема установки для обработки СОЖ в импульсном низкочастотном магнитном поле: 1 - воронка; 2 источник питания (генератор импульсных токов (ГИТ)); 3 - индуктор (катушка соленоида); 4 - камера; 5 - вентиль; 6 - ограничитель потока; 7 - емкость

Напряженность импульсного магнитного поля в катушке соленоида определялось по осциллограмме осциллографа типа С1-117 расчетным путем. В результате проведенных исследований было установлено (рис.2), что: - с увеличением количества проходов СОЖ через электромагнитное поле от 1 до 5, бактерицидное действие магнитного поля снижается, ОМЧ в обработанной СОЖ растет и при кратности больше 3-4 превышает ОМЧ в необработанной СОЖ; - бактерицидное действие импульсного электромагнитного поля зависит от его частоты, оно максимально при частоте следования импульсов 2 Гц; - бактерицидное действие импульсного электромагнитного поля растет с увеличением скорости движения СОЖ, достигая максимума при скорости 0.08 м/с, а затем падает, и при скорости больше 0,024 м/с, стремится к нулю; - влияние скорости движения СОЖ через индуктор на ОМЧ при частоте следования импульсов магнитного поля 2 Гц менее выражено, чем при частоте 10 Гц (рис.3). Вероятно, в исследуемом диапазоне бактерицидный эффект действия КНЧ магнитного поля более связан с частотой следования импульсов, чем с индукцией магнитного поля. Поясним данное предположение следующими рассуждениями. Исходя из того, что электромагнитная энергия передается по

диэлектрику, в результате импульса магнитного поля, согласно теореме Умова – Пойнтинга, при перемещении микробиологических объектов в магнитном поле большая часть электрической составляющей энергии магнитного поля будет поглощаться мембранами клеток, как имеющими более высокое сопротивление (поверхностное сопротивление мембраны до 100 кОм/см). Рис. 2 - Влияние на ОМЧ количества проходов СОЖ через ИЭП; 2 и 10 Гц – частота следования импульсов магнитного поля Рис. 3 - Влияние на ОМЧ скорости движения СОЖ через ИЭП. 2 и 10 Гц – частота следования импульсов магнитного поля

Можно предположить, что под действием электрической составляющей электромагнитного поля за время порядка 10^{-6} сек происходит мгновенный нагрев и возможно нарушение мембран бактерий, как имеющих высокое удельное сопротивление. Под действием второй составляющей, - вектора Пойнтинга - скорости изменения электромагнитной энергии в единице объема, произойдет поляризация мембранных оболочек, изменение мембранных потенциалов и клеточных структур, что на наш взгляд будет решающими факторами в гибели клетки. Рассчитаем энергию магнитного поля внутри катушки при подаче на нее затухающего импульса. Из основ физики известно, что плотность энергии магнитного поля внутри катушки: $\omega = \mu_0 n^2 I^2 / 2$, (1) или $\omega = B^2 / 2\mu_0 = [n I_0 e^{-\delta t} \sin(2\pi f t + \alpha_0)]^2 \mu_0 / 2$, (2) где μ и μ_0 – магнитная проницаемость вещества и вакуума, n – число витков на 1 м катушки, I – ток, $I = I_0 e^{-\delta t} \sin(2\pi f t + \alpha_0)$, I_0 – начальное значение тока, А, δ – коэффициент затухания, $2\pi f$ – угловая частота, рад/с, t – время воздействия импульса, с, f – частота следования импульсов, Гц, α_0 – начальная фаза, рад.

1 10 Гц 2 Гц Принимаем, что при прочих равных условиях ω является функцией только от $(\sin 2\pi f)^2$. Тогда имеем: $\omega = F(\sin(2\pi f))^2$. (3) Анализ полученного уравнения (3) показывает, что с ростом частоты при постоянной индукции, плотность энергии магнитного поля внутри катушки соленоида уменьшается как $\sqrt{\omega}$. Следовательно, энергетическое воздействие на клетку уменьшается, что может привести к снижению бактерицидного эффекта, что фактически и наблюдалось нами в исследуемом диапазоне. В то же время при постоянной частоте следования импульсов рост индукции сопровождается увеличением плотности энергии как $\sqrt{\omega}$, что должно привести к увеличению бактерицидного эффекта. Однако, как отмечают Классен В.И. [8], Бинги В.Н. [10] и др., бактерицидный эффект магнитного поля более выражен при слабых магнитных полях, что вероятно связано, как отмечалось выше, с существованием так называемых "частотно-амплитудных окон" В частности, проводимые ранее пробные работы по обработке СОЖ марки «ВЭЛС-1» при индукции магнитного поля 1 Тл, против 0,05 Тл при частоте следования импульсов 2 Гц, (то есть при увеличении индукции магнитного поля в 20 раз), в лучшем случае обеспечивали снижение ОМЧ в 1.4 раза, против 4 раз при индукции 0.05 Тл и частоте 2 Гц. Данное обстоятельство наталкивает на мысль о резонансных явлениях происходящих внутри клетки под воздействием слабых

КНЧ импульсных электромагнитных полей. Бактерицидный эффект характерен и при обработке в слабых магнитных полях крайне высокой частоты (КВЧ) (миллиметровые волны ММ или колебания Г. Фрелиха (3×10^{10} - 3×10^{11} Гц) [13]. Таким образом можно предположить, что в исследуемом диапазоне бактерицидный эффект действия крайне низкочастотного магнитного поля более связан с частотой следования импульсов, чем с индукцией магнитного поля. Выводы Общее содержание микроорганизмов в СОЖ зависит от режимов электромагнитной обработки. В исследуемом диапазоне с ростом частоты импульсов КНЧ электромагнитного поля и времени обработки СОЖ в магнитном поле, бактерицидное действие импульсного электромагнитного поля (по ОМЧ) снижается.