

Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 537.612:633.127

Влияние переменного магнитного поля низкой интенсивности на физические характеристики зерновок Сорго

А.Э. Постельга, А.Д. Усанов, Ю.А. Беляченко, В.С. Тырнов, Д.А. Усанов

Было обнаружено, что при воздействии низкочастотным магнитным полем на зерновки сорго происходит уменьшение характерных для них значений диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. После прекращения воздействия магнитного поля значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в течение примерно двух часов возвращаются в исходное состояние.

В работах [1,2] сообщалось о существенном изменении диэлектрической проницаемости воды и ее акустических свойств при воздействии магнитных полей с частотами из интервала 5–15 Гц. При этом отмечалось, что для достижения наибольшего влияния низкочастотного магнитного поля на воду при уменьшении его напряженности было необходимо увеличивать время воздействия. Характерные параметры магнитного поля, при которых достигается значительное изменение физических характеристик воды, были первоначально установлены по реакции на воздействие магнитного поля частоты сердцебиений дафний, используемых в качестве своеобразных биоиндикаторов [2,3]. Наибольшее влияние на воду наблюдалось при действии переменного магнитного поля с частотой из интервала 5–15 Гц, при этом, например, для магнитного поля с индукцией 25 мТл время воздействия для достижения максимального эффекта должно быть не меньше 60 мин. [1–3].

В работе [1] исследовано влияние переменного магнитного поля на физические характеристики воды СВЧ-методом. Показано, что воздействие переменного магнитного поля приводит к изменению диэлектрической проницаемости воды, при этом изменение свойств воды до некоторого устойчивого состояния происходит в течение определенного времени после начала воздействия магнитного поля.

Изучению влияния магнитных полей на биологические объекты посвящено значительное число работ [4–9]. Однако какого-либо обоснования выбора параметров магнитного поля (напряженности, частоты) и времени его воздействия в большинстве работ, посвященных исследованию характера воздействия магнитного поля на биообъекты, как правило, не приводится. Сложность подобного обоснования отчасти связана с тем, что механизм действия магнитных полей на биологические объекты в настоящее время не установлен. Одним из возможных механизмов биологического действия магнитных полей является их влияние на водную компоненту живых организмов. В связи с этим в данной работе были выбраны такие параметры магнитного поля, при которых наблюдается его сильное влияние на физические характеристики воды.

Целью работы было выяснить с помощью СВЧ-методов: оказывает ли влияние переменное магнитное поле низкой интенсивности с выбранными указанным выше способом параметрами на физические характеристики зерновок растений, в качестве которых были выбраны зерновки сорго двцветного *Sorghum bicolor* (L.) Moench (сорт Пищевое-35).

Теоретический анализ

При теоретическом анализе рассматривалось распространение $TE_{10}(H_{10})$ волны в волноводе и ее отражение от слоя семян сорго 3, ограниченного диэлектрической вставкой 2 (рис.1). Измеряемая структура состоит из слоя диэлектри-

А.Э. Постельга, А. Д. Усанов, Ю.А. Беляченко,
В. С. Тырнов, Д. А. Усанов

г. Саратов, Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского

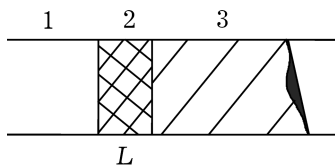


Рис.1. Схема заполнения волновода слоем сорго: 1 – незаполненная область волновода, 2 – диэлектрическая вставка толщиной L , 3 – полубесконечный слой сорго

ка толщиной L с диэлектрической проницаемостью ϵ_d и полубесконечного слоя зерновок сорго с диэлектрической проницаемостью ϵ_c .

Выражение для комплексного коэффициента отражения электромагнитной волны от полубесконечного слоя сорго в волноводе, ограниченно-го диэлектрической вставкой, может быть представлено в виде [5]:

$$R^* = \frac{e^{2\gamma_d L}(\gamma_d - \gamma_0)(\gamma + \gamma_d) + (\gamma_0 + \gamma_d)(\gamma - \gamma_d)}{-e^{2\gamma_d L}(\gamma_d + \gamma)(\gamma_0 + \gamma_d) + (\gamma_0 - \gamma_d)(\gamma - \gamma_d)}, \quad (1)$$

где

$$\gamma = \sqrt{\frac{\pi^2}{a^2} - \omega^2 \epsilon_c^* \epsilon_0 \mu_0}$$

– постоянная распространения электромагнитной волны в воде, $\epsilon_c^* = \epsilon_c(1 - j \operatorname{tg} \sigma)$, – комплексная диэлектрическая постоянная, ϵ_c – диэлектрическая проницаемость, $\operatorname{tg} \sigma$ – тангенс угла диэлектрических потерь сорго, γ_0 – постоянная распространения в незаполненной части волновода, γ_d – постоянная распространения волны в диэлектрике, a – размер широкой стенки волновода, ϵ_0 и μ_0 – электрическая и магнитная проницаемости вакуума.

Экспериментальная часть

Эксперимент проводился на установке, схема которой представлена на рис.2, в диапазоне частот от 26 до 29 ГГц.

Коэффициент отражения R электромагнитной волны, взаимодействующей с описанной структурой, определяется как диэлектрической проницаемостью и толщиной диэлектрика, так и диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь зерновок сорго. Возможность теоретического описания зависимости R от частоты f и измерения этой зависимости позволяет решить так называемую обратную задачу: определить физические характеристики зерновок сорго и их изменения по этим зависимостям.

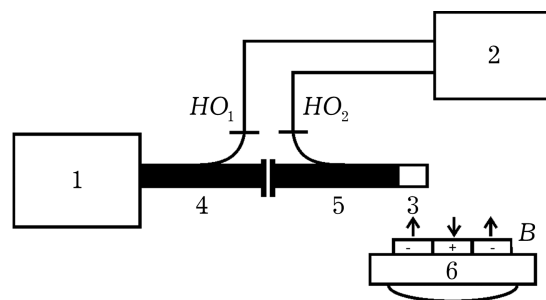


Рис.2. Схема установки. 1 – генератор качающейся частоты Р2-65, 2 – индикатор Я2Р-67 КСВН и ослабления, 3 – измеряемая структура, 4 и 5 – направленные ответвители, 6 – источник переменного магнитного поля

Решение обратной задачи

Для решения обратной задачи была измерена зависимость коэффициента отражения $R(f)$ от частоты СВЧ излучения f и рассчитывалась сумма квадратов отклонений экспериментальных значений коэффициента отражения $R_{\text{exp}}(f)$ от теоретических $R_{\text{theor}}(f)$ [6]

$$S = \sum_{i=1}^n [R_{\text{theor}}(f_i, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma) - R_{\text{exp}}(f_i)]^2, \quad (2)$$

где ϵ_c и $\operatorname{tg} \sigma$ – искомые параметры обратной задачи.

Решение обратной задачи состоит в том, чтобы найти такие значения искомых параметров, при которых сумма S будет иметь наименьшее значение. В точке минимума суммы S ее частные производные равны нулю. После дифференцирования S по параметрам ϵ_c и $\operatorname{tg} \sigma$ и приравнивания к нулю частных производных $\partial S / \partial \epsilon_c$ и $\partial S / \partial \operatorname{tg} \sigma$ в точке минимума, получаем систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial \epsilon_c} = 2 \sum_{i=1}^n [R_{\text{theor}}(f, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma) - R_{\text{exp}}(f)] \times \\ \times \frac{\partial R(f, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma)}{\partial \epsilon_c} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \operatorname{tg} \sigma} = 2 \sum_{i=1}^n [R_{\text{theor}}(f, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma) - R_{\text{exp}}(f)] \times \\ \times \frac{\partial R(f, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma)}{\partial \operatorname{tg} \sigma} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где $R_{\text{theor}}(f, \epsilon_c, \operatorname{tg} \sigma)$ находится из выражения (1). Из решения системы уравнений (3), определяются две искомые величины: ϵ_c и $\operatorname{tg} \sigma$.

Результаты и их обсуждения

На рис. 3 точками отмечены данные, полученные экспериментально в отсутствие магнитного

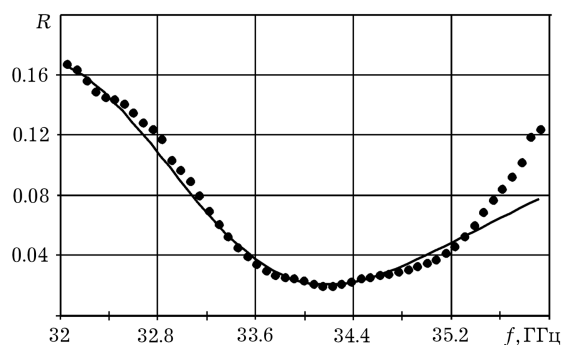


Рис.3. Зависимость коэффициента отражения СВЧ излучения от слоя семян сорго, ограниченного диэлектрической вставкой, толщиной 20 мм, от частоты излучения

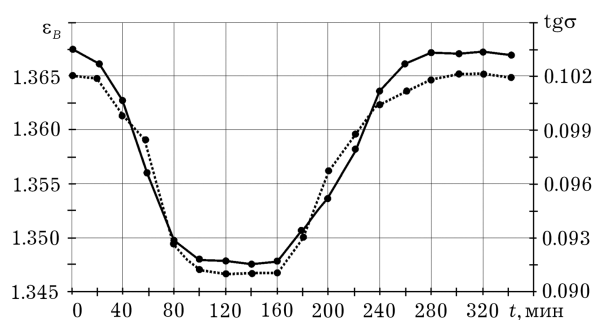


Рис.4. Зависимость изменения диэлектрической проницаемости сорго в переменном магнитном поле (сплошная кривая), изменения тангенса угла диэлектрических потерь сорго в переменном магнитном поле (пунктирная кривая) от времени

поля ($B = 0$). С использованием описанной выше методики и результатов измерений получены значения диэлектрической проницаемости семян сорго 1.367, тангенса угла диэлектрических потерь 0.102 в отсутствие магнитного поля. Теоретическая зависимость модуля коэффициента отражения электромагнитной волны $R = |R^*|$ от частоты падающего СВЧ-излучения f , рассчитанная с использованием найденных значений ϵ_c и $\text{tg}\sigma$, изображена на рис.3 сплошной линией. В расчетах использовались следующие параметры диэлектрической вставки: толщина 20 мм, диэлектрическая проницаемость 2.1. Диэлектрик именно с такими параметрами использовался в эксперименте.

На рис. 4 представлены результаты определения по описанной выше методике зависимости диэлектрической проницаемости (сплошная линия) и тангенса угла диэлектрических потерь сорго (пунктирная линия) от времени воздействия переменного магнитного поля частотой 10 Гц и амплитудой 30 мТл. Из приведенных на этом рисунке результатов видно, что с момента включения магнитного поля ($t = 0$) с указанными выше параметрами в течение 90 минут наблю-

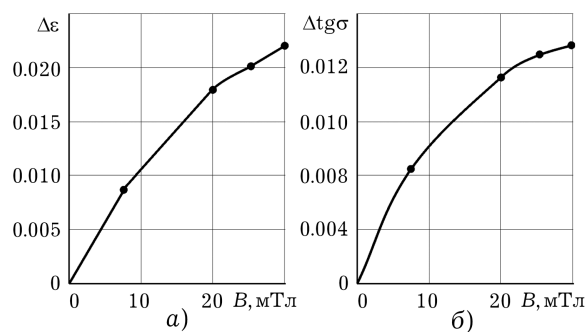


Рис. 5. Зависимость величины изменения диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) сорго от амплитуды воздействия переменного магнитного с частотой 10 Гц при времени воздействия 90 минут

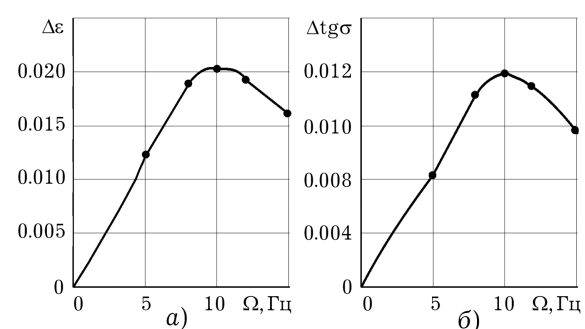


Рис. 6. Зависимость величины изменения диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) воды от частоты воздействия переменного магнитного с амплитудой 30 мТл при времени воздействия 90 минут

далось уменьшение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сорго. Затем изменения прекращались, и в течение 50 минут наблюдений указанные величины оставались постоянными. При последующем выключении магнитного поля, которое производилось через 160 минут, наблюдалось увеличение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сорго и их возврат к прежнему значению в течение примерно 120 минут. Таким образом, при указанных параметрах внешнего магнитного поля максимальное обратимое относительное изменение диэлектрической проницаемости сорго составило около 1.5 %, а относительное изменение тангенса угла диэлектрических потерь около 10.8%.

Были проведены исследования обнаруженного эффекта для различных значений амплитуды и частоты магнитного поля. Измерения максимального изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сорго от амплитуды магнитного поля B проводились на частоте $\Omega = 10$ Гц (рис.5), а от частоты магнитного поля Ω – при амплитуде $B = 30$ мТл (рис.6). Из полученных результатов следует,

что зависимость изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сорго от амплитуды переменного магнитного поля близка к логарифмическому закону, а зависимость максимального изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сорго от частоты изменения магнитного поля имеет максимум вблизи значения $\Omega = 10$ Гц.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что при воздействии низкочастотным магнитным полем на зерновки сорго происходит уменьшение характерных для них значений диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Исследования обнаруженного эффекта при различных значениях амплитуды, частоты и времени воздействия магнитного поля показали, что максимальное изменение значений физических параметров, характерных для сорго, происходит при частоте переменного магнитного поля $\Omega = 10$ Гц при амплитуде $B = 30$ мТл и времени воздействия $t = 90$ мин. После прекращения воздействия магнитного поля значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь воды возвращаются в исходное состояние, при этом время возврата существенно превышает аналогичную характеристику для воды.

Литература

1. Усанов Д.А., Шишкин Г.Г., Горбатов С.С., Усанов А.Д. Определение влияния переменного магнитного поля на физические характеристики воды СВЧ-методом // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – Вып. 5-6. – С. 65-69.
2. Усанов Д.А., Сучков С.Г., Усанов А.Д. Корреляция между характером влияния переменного магнитного поля на акустические свойства воды и сердцебиение дафнии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – Вып. 1-2. – С. 67-69.
3. Усанов Д.А., Шишкин Г.Г., Скрипаль А.В., Усанов А.Д. Влияние внешнего переменного магнитного поля на частоту сердцебиений пресноводного рачка – дафнию // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001. – Вып. 8. – С. 57-61.
4. Стимулирующее влияние переменного магнитного поля на митотическую активность и рост кукурузы / В.С. Тырнов, Ю.А. Смирнова, А.Д. Усанов и др. // Вавиловские чтения – 2004. Матер. Всеросс. конф. 24-26 ноября 2004 г. Секция генетики и селекции. – Саратов: Изд-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2004. – С. 65-67.
5. Холодов Ю. А. Магнетизм в биологии. – М.: Наука, 1970. – 96 с.
6. Холодов Ю. А. Шестой незримый океан (очерки по электромагнитной биологии). – М.: Знание, 1978. – 112 с.
7. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. – 1996. – Т. 41. – Вып. 1. – С. 815-825.
8. Кострюкова Н.К., Гудков А.Б., Карпин В.А. Биологические эффекты сверхслабых магнитных полей. Обзор литературы // Экология человека. – 2004. – Вып. 3. – С. 55-59.
9. Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // УФН. – 2003. – Т. 173. – № 3. – С. 265-300.

Influence of Low Intensity Alternating Magnetic Field on the Physical Features of Sorghum Germs

A.E. Postelga, A.D. Usanov, Yu.A. Belyachenko, B.C. Tyrnov, D.A. Usanov

It has been discovered that under influence by low-frequency magnetic field on the sorghum germs the decrease of its typical values of permittivity and dielectric losses tangent takes place. After stopping of magnetic field influence the permittivity during values and dielectric losses tangent return into initial state during 2 hours.



Усанов Дмитрий Александрович, проректор по НИР, д-р физ.-мат. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. Научные интересы: твердотельная электроника, метрология



Постельга Александр Эдуардович, канд. физ.-мат. наук, ассистент, Саратовский госуниверситет. Научные интересы: твердотельная электроника и радиоп физика



Тырнов Валерий Степанович, профессор, д-р биол. наук, заведующий кафедрой генетики, Саратовский госуниверситет. Научные интересы: общая генетика, репродуктивная биология, цитогенетика, проблемы эволюции



Усанов Андрей Дмитриевич, канд. физ.-мат. наук, доцент Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. Научные интересы: биофизика, физика неионизирующих излучений.



Беляченко Юлия Александровна, аспирант, лаборант кафедры генетики, Саратовский госуниверситет. Научные интересы: общая генетика, цитология, биофизика.