

исключения проводимости среды из суммарной проводимости клетки и среды.

Список литературы: 1. Method for measuring the electrical conductivity of solution: pat. 2008025775 WO: G01N 27/06, G01R 27/22 / Mettler Toledo.; заявл. 30.08.06; опубл. 06.03.08. 2. Method and device for liquid conductivity measurement: pat. 2007010320 WO: G01R27/22 / Scozzari A. ; заявл. 21.07.05; опубл. 25.01.07. 3. Pavlin M. Effect of cell electroporation on the conductivity of a cell suspension/Pavlin M., Kanduser M., Rebersek M., Pucihar G., Hart F.X., Magjarevic R., Miklavcic D. //Biophys J.-2005.-V.88, №6.-P.4378-4390. 4. Chang D.C. Guide to Electroporation and Electrofusion/Chang D.C., Chassy B.M., Saunders J.A., Sowers A.E. -San Diego.-Academic Press, 1992.-581p. 5. Спосіб визначення провідності рідких середовищ: пат. 20187 Україна: G01R 27/22 / Шигимага В.О.; заявл.10.07.06; опубл.15.01.07, Бюл.№ 1.-3с. 6. Шигимага В.А. Определение проводимости эмбриональных клеток животных//Проблемы бионики.- Харьков.-2003.-вып.59.-с.60-64. 7. Шигимага В.О. Апаратура для електрозлиття та вивчення провідності клітин//Вісник ХДТУСГ. -Харків.-2001.-Вип.6.-с.386-389. 8. Манк М. Биология развития млекопитающих. Методы /Пер. с англ. под ред. М. Манк.- М.: Мир.- 1990.- 406с.

Поступила в редколлегию 25.11.2010

УДК 5773

В. М. ДУБИК, ассистент, Подольский государственный аграрно-технический университет, г. Каменец-Подольский

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ НА МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕРВНЫХ КЛЕТОК НАСЕКОМЫХ

Проведений теоретичний аналіз по впливу електричних імпульсів на мембранний потенціал нервових клітин комах, величина якого приводить до руйнування мембран

Проведен теоретический анализ по влиянию электрических импульсов на мембранный потенциал нервных клеток насекомых, величина которого приводит к разрушению мембран.

A theoretical analysis is conducted on influence of electric impulses on diaphragm potential of nervous cages of insects, the size of which results in destruction of membranes.

Постановка проблемы. В настоящее время в садах Украины для уничтожения вредных насекомых применяют только химические препараты [1]. Современные химические средства позволяют успешно защитить плодовые культуры от комплекса вредных насекомых. Повреждаемость плодов при их применении составляет 0,2...0,3%. Однако химический метод при широком его применении имеет и ряд недостатков: вызывает обеднение биоценоза в результате массового уничтожения почти всего комплекса паразитирующих и хищных насекомых, загрязнение биосферы, появление устойчивых к пестицидам вредителей, в некоторых случаях приводит к повышению плодовитости отдельных насекомых и клещей и др. При нарушении правил использования пестицидов в плодово-ягодных продуктах накапливаются остаточные количества химических препаратов, превышающие допустимые нормы.

Научные исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу может быть электрофизический, в котором для

уничтожения насекомых-вредителей может быть использовано в поражающем устройстве импульсное электрическое поле [2, 3]. В тоже время отсутствие теоретических исследований по определению параметров импульсного электрического поля для уничтожения насекомых-вредителей урожая плодовых культур делает проблематичной постановку вопроса о создании эффективной передвижной установки.

Анализ предшествующих исследований. В работе [3], были проведены экспериментальные исследования связанные с действием СВЧ-излучения на микроорганизмы в импульсном режиме. Полученные результаты подтверждают возможность использования электрических импульсов в поражающем узле электрофизических установок для уничтожающих летающих насекомых-вредителей урожая плодовых культур.

Цель работы. Провести теоретические исследования по определению параметров импульсного электрического поля, которые за счет наведенного потенциала на мембране нервных клеток насекомых приведут к их гибели.

Основная часть. Разработанная математическая модель взаимодействия последовательности электромагнитных импульсов с летающими насекомыми-вредителями в садах, позволяет оценить величину воздействия электромагнитного поля на мембрану нейрона. При этом в качестве модели нервного волокна (нейрона) будем рассматривать бесконечно длинный Re – кабель, центральный проводник которого обладает распределенным сопротивлением и имеет радиус r_i , а оболочка с радиусом r_e образует наружную обкладку с распределенной емкостью.

Для того, чтобы оценить воздействие электрического поля на нейрон, определим разность потенциалов φ_H на мембране нейрона. Для этого применим граничные условия на наружной границе ($r = r_e$) оболочки коаксиального кабеля:

$$\vec{D}_e = \vec{D}_i, \quad (1)$$

где \vec{D}_e – тангенциальная составляющая электрической индукции на внешней стороне мембраны нейрона;

\vec{D}_i – тангенциальная составляющая вектора электрической индукции на внутренней стороне мембраны нейрона.

Из (1) имеем:

$$\varepsilon_1 E_e = \varepsilon_H E_i, \quad (2)$$

где ε_1 – диэлектрическая проницаемость биологического объекта;

E_e – напряженность электрического поля в среде внешней по отношению к нервному волокну.

Учитывая (2) получаем:

$$|E_i| = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_H} \right| |E_e|. \quad (3)$$

В качестве $|E_e|$ следует выбирать напряженность электрического поля, усредненное по объему биологического объекта. Как было установлено, эта величина может быть вычислена из выражения:

$$E_{cp}(t) = 2A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - kr_0 - \frac{\pi\tau}{T} + \frac{\pi}{4}\right) \quad (4)$$

где
$$A = \frac{UT \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} R^2 \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right)}{\sqrt{2} \pi^{5/2} r_0 \sqrt{\varepsilon_{2r} \varepsilon_0 \mu_0} H \left(4\pi^2 - 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon_{2r} \varepsilon_{2r}}}{\varepsilon_{1r}}\right)}$$

τ, T – длительность и период повторения импульсов;

r_0, φ_0, z_0 – координаты источника электромагнитных импульсов;

$k_n = \frac{2\pi n}{T} \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$, $n = \pm 1, \pm 2, \dots$, – волновое число;

$\bar{k} = k_n \sqrt{\bar{\varepsilon}_{1r}}$ – волновое число среды, моделирующей биообъект;

$k = k_n \sqrt{\bar{\varepsilon}_{2r}}$ – волновое число внешней среды;

R, H – радиус и высота диэлектрического цилиндра;

$\bar{\varepsilon}_{1r}$ – относительная ДП биологического объекта;

$\bar{\varepsilon}_{2r}$ – относительная ДП внешней среды;

ε_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума.

Разность потенциалов на мембране определяется следующим выражением:

$$\varphi_H = r_i \int_{r_i}^{r_e} \frac{|E_i|}{r} dr. \quad (5)$$

Тогда на основании (3) имеем:

$$\varphi_H = \left| \frac{\varepsilon}{\varepsilon_H} \right| r_i \ln \frac{r_e}{r_i} |E_e|. \quad (6)$$

Теперь достаточно подставить в выражение (6) выражение (4) для E_e .

Тогда окончательно для разности потенциалов получим:

$$\varphi_H = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_H} \right| r_i \ln \frac{r_e}{r_i} 2A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - kr_0 - \frac{\pi\tau}{T} + \frac{\pi}{4}\right) \quad (7)$$

На основе полученной формулы для разности потенциалов на мембране нейрона были проведены расчеты при различных параметрах периодической последовательности импульсов. Результаты этих расчетов приведены для нормированной разности потенциалов $\bar{\varphi}_H$ от скважности $q = T/\tau$ импульса для ряда значений периода повторения T импульсов. Величина φ_H определялась согласно формуле:

$$\bar{\varphi}_H = \frac{\varphi_H}{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_H} \cdot r_i \ln \frac{r_e}{r_i} U \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} R}, \quad (8)$$

где ε_n – ДП нейрона;

ε_1 – ДП внешней среды окружающей нейрон;

U – амплитуда плотности тока в источнике импульсов;

R – радиус цилиндра, модулирующего биологический объект;

φ_H – разность потенциалов на мембране.

Параметры, входящие в выражения (5...8), имели следующие значения: $\varepsilon_{2r} = 1$ – относительная ДП внешней среды, где находится источник импульсов, $\varepsilon_{1r} = 17 + i 24$ – относительная ДП биологического объекта, $H = 6 \cdot 10^{-3}$ м – длина биологического объекта, r_i и r_e – внутренний и внешний радиусы нейрона соответственно.

Анализ проведенных расчетов позволяет утверждать следующее:

Во-первых, зависимость разности потенциалов от скважности q имеет резонансный характер. Максимальное значение разности потенциалов достигается при $q = 2$, т.е. когда длительность импульса в два раза меньше периода повторения.

Во-вторых, максимальное значение разности потенциалов на мембране нейрона увеличивается с ростом периода повторения T .

В-третьих, разность потенциалов убывает с увеличением скважности q .

Для расчётов основных параметров импульсного излучения для уничтожения насекомых-вредителей в садах были использованы численные данные из литературных источников [4, 5]: $r_i = 0,3 \cdot 10^{-6}$ м; $r_e = 0,54 \cdot 10^{-6}$ м; $\varepsilon_1 = 80$; $\varepsilon_H = 3$; $\varepsilon_{2r} = 1$; $\varepsilon_{1r} = 17$; $H_i = 6 \cdot 10^{-3}$ м; $R = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

Выводы.

1. Уничтожение насекомых-вредителей в садах следует проводить с использованием импульсных ЭП с параметрами: $T = 10^{-4}$ с; $\tau = 0,5 \cdot 10^{-4}$ с; $E_m = 3 \dots 4$ кВ.

2. Для разрушения мембраны нейрона насекомых в течение времени $t = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с необходим наведенный потенциал на мембране нейрона 200...300 мВ.

Список литературы: 1. Пospelов С. М. Защита растений / С. М. Пospelов, Н. Г. Бермин, Е. Д. Васильева – М.: Агропромиздат, 1986. – 392 с. 2. Белицкий Б. Н. Излучение действия СВЧ – поля на микроорганизмы в импульсном и непрерывном режимах / Б. Н. Белицкий, А. И. Педенко, И. В. Лерика [Биофизика] 1982. – Т.27, вып. 5. – С.923-933. 3. Эдвардс Р. Ряды Фурье в современном изложении: в 2-х т. / Р. Эдвардс – М.: МИР. 1985. – Т1. – 264 с. 4. R. Plonsey Bioelectricity. A Quantative / R. Plonsey, C. Barr. – New York; Penum Pres, 1988. – 366 p. 5. Рубин А. Б. Биофизика: Биофизика клеточных процессов / Рубин А.Б. – М.: Высш. шк, 1987. – 303 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2010