

## Влияние внешнего электромагнитного поля на физиологические процессы обмена в растительных клетках

И.И. Бородай

*Государственный биотехнологический университет (г. Харьков, Украина)  
email: irina.boroday@btu.kharkov.ua; ORCID: 0000-0003-1045-4076*

Рассмотрена возможность замедления процессов дыхания растительных клеток с помощью высокочастотного электромагнитного излучения, позволяющего увеличить сроки хранения и сохранить качество продукции. Для замедления процессов дыхания и увеличения сроков хранения плодоовощной продукции был рассмотрен процесс переноса ионов и протонов через мембрану клетки. Определение численных значений биотропных параметров информационного электромагнитного излучения для ингибирования синтеза этилена, выделяемого плодоовощной продукцией, на основе моделей, описывающих процесс дыхания растительной клетки под влиянием электромагнитного излучения. Для торможения интенсивности дыхания плодов описан процесс регулирования переноса ионов и протонов через мембрану митохондрий. Полученное выражение для плотности тока через мембрану клетки позволяет определять частоту электромагнитного излучения и приведенный потенциал на мембране, которые приводят к блокированию дыхания плодов в процессе их длительного хранения. Теоретические расчеты значений биотропных параметров электромагнитного поля для максимальной блокировки движения ионов через каналы в мембране клетки равны электромагнитным излучениям с частотой 33,5...36 ГГц, а искусственно созданный потенциал на мембране не должен быть больше 120 мВ. Воздействие внешним электромагнитным излучением с оптимальными параметрами повышает вероятность возможной блокировки каналов движения ионов практически в 7-8 раз. Соответственно таким условиям будет замедляться и обмен веществ на уровне мембран клетки и процесс их дыхания, что естественно скажется на сроках хранения фруктово-овощной продукции.

**Ключові слова:** мембрана, движение ионов, электромагнитное поле, блокировка дыхания плодов, интенсивность потока, напряженность электрического поля

**Постановка проблемы.** Одним из важных вопросов обеспечения населения высококачественными продуктами питания является организация длительного хранения фруктов и овощей. Одна из основных причин снижения качества и развития многих заболеваний плодов и овощей при хранении - избыточное накопление этилена. Этилен синтезируется плодами, активизирует их созревание. Накопление этилена в камерах с регулируемой атмосферой оказывает влияние на отдельные процессы обмена веществ, повышая активность некоторых ферментов углеводного, жирового и белкового обменов, увеличивает интенсивность дыхания, вызывает развитие разного рода болезней фруктов [1].

Значительная доля потерь плодов (до 40 %) в период хранения приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями [2].

Длительное хранение плодоовощной продукции возможна в результате эффективного ингибирования синтеза этилена и его биологического действия [1].

Длительное хранение плодоовощной продукции можно достигнуть за счет замедления окислительного распада органических веществ и

образования химически активных метаболитов. Дело в том, что данный процесс сопровождается освобождением энергии, которая используется клетками для процессов жизнедеятельности. Присоединение кислорода к субстрату приводит к медленно текущему горению питательных веществ в живом организме и, соответственно, снижению качества овощей и фруктов в процессе их хранения.

Очевидно, что решение данной задачи лежит в плоскости контроля механизма дыхания [3]. Данная цель может быть достигнута с помощью замедления транспорта ионов и протонов через мембрану растительной клетки. Обычно данная задача решается с помощью создания соответствующего температурного режима в хранилище либо с помощью использования в нем смеси нейтральных газов, тормозящих данный процесс, либо одновременного применения того и другого [4].

Однако заслуживает интереса принципиально другой способ решения данной задачи. Создание соответствующих электрических полей может противодействовать указанному транспорту вплоть до закрытия каналов, по которым этот транспорт осуществляется.

Очевидно, что замедление процесса дыхания, а, следовательно, увеличение срока хранения фруктов может быть достигнуто за счет изменения проницаемости мембран клетки. Этого можно достигнуть уменьшая величину тока наружу и внутрь клетки, чему может способствовать именно высокочастотное электромагнитное воздействие на плодоовощную продукцию [5, 6].

Влияние внешних электромагнитных полей на процессы жизнедеятельности растений объясняется тем, что основной электрической характеристикой растительной клетки является ее мембранный потенциал, который соответствует состоянию клетки во время физиологического покоя, когда обмен веществ находится в равновесном состоянии [7]. Живые структуры всегда имеют отрицательный заряд по отношению к окружающей среде. Мембранный потенциал определяет все типы электрической активности живых организмов, в том числе и процесс дыхания и обмена веществ [8].

Интенсивность дыхания и, следовательно, длительность сохранности плодов фруктов зависит от того, насколько активно происходит перенос ионов и протонов через мембрану клетки. Возможность регуляции этого переноса, а именно его торможение, должно привести к большим срокам хранения фруктов без существенной потери их свойств [5].

На обширном фоне исследований по воздействию электрических и электромагнитных полей с различными характеристиками на биологические мембраны практически неизвестны данные о воздействии электромагнитных полей на биологические клетки с целью не ускорения, а замедления протекающих в них процессов, в том числе и их дыхания [7, 8]. В связи с чем, проведение исследований по данному вопросу является актуальной задачей.

**Цель работы.** Процесс влияния высокочастотных электромагнитных излучений на дыхание фруктов в процессе их длительного хранения.

**Результаты исследований.** Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

1. Рассмотреть процесс переноса ионов и протонов через мембрану клетки и получить выражение для плотности тока.
2. Определить частоту электромагнитного излучения и наведенный потенциал на мембране клетки для блокировки дыхания плодов.

Теоретический анализ влияния высокочастотного излучения на плотность тока через мембрану клетки будем рассматривать клетку в виде сферы, имеющей диэлектрическую оболочку. Частотно-зависимая составляющая индуцируемого дипольного момента для такой сферической частицы записывается в виде [5]:

$$D = \frac{\omega^2 \varepsilon_0^2 A_1 + j\omega \varepsilon_0 B_1 + C_1}{\omega^2 \varepsilon_0^2 A_2 + j\omega \varepsilon_0 B_2 + C_2}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_m$  – относительная диэлектрическая проницаемость мембраны клетки;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $j$  – мнимая единица;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота.

Параметры  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1$  и  $C_2$  определяются независимыми от частоты значениями проводимости и диэлектрической проницаемости наружной и внутренней сред и разделяющей оболочки.

Из анализа выражения (1) следует, что в случае воздействия низкочастотного поля мембрана представляет собой хороший изолятор, и ток идет в обход клетки по проводящей среде. Индуцированные заряды увеличивают напряженность поля внутри частицы. Такое распределение индуцированных зарядов соответствует антипараллельной ориентации дипольного момента частицы относительно внешнего поля. При воздействии высокочастотного поля проводимость мембраны высока; и так как электропроводность внутриклеточной среды выше электропроводности бессолевого внеклеточной среды, ток протекает преимущественно через клетку. В этих условиях распределение индуцированных зарядов на поверхности частиц соответствует параллельной ориентации дипольного момента по отношению к внешнему полю.

Очевидно, что замедление процесса дыхания, а, следовательно, увеличение срока хранения фруктов может быть достигнуто за счет уменьшения проницаемости мембран митохондрий. Это можно получить, уменьшая величину тока внутри клетки, который присутствует именно при высокочастотном электромагнитном воздействии на плод.

Для простоты рассматривается клетка в виде объекта, имеющего сферическую форму. Предполагалось, что среда, заполняющая внутреннюю часть клетки, характеризуется диэлектрической и магнитной проницаемостями  $\varepsilon$  и  $\mu$ , которые, при наличии неоднородности, могут являться функциями радиуса сферы. Внешнее по отношению к рассеивателю пространство предполагается однородным. Оно характеризуется постоянными электромагнитными проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\mu_1$ .

Найдены компоненты электрической составляющей поля внутри клетки, поскольку именно она влияет на процесс движения ионов через мембрану:

$$E_r = 3 \sqrt{\frac{\pi}{2}} E_0 b_1 \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{(kr)^{\frac{3}{2}}} \sin \theta \cos \phi \quad (2)$$

$$E_\phi = -j \frac{3}{2} E_0 \sqrt{\frac{\pi}{2kr}} \left( a_1 J_{\frac{3}{2}}(kr) \cos \theta \sin \phi - \right. \\ \left. -j \frac{b_1}{2} \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{kr} + \left( J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{5}{2}}(kr) \right) \right] \sin \phi \right), \quad (3)$$

$$E_\theta = j \frac{3}{2} E_0 \sqrt{\frac{\pi}{2kr}} \left( a_1 J_{\frac{3}{2}}(kr) \cos \phi - \right. \\ \left. -j \frac{b_1}{2} \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{kr} + \left( J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{5}{2}}(kr) \right) \right] \times \right. \\ \left. \times \cos \theta \cos \phi \right), \quad (4)$$

Мембрана не является однородной фазой для движения ионов, поскольку перенос ионов через мембраны осуществляется через специализированные участки – ионные каналы, представляющие собой липопротеиновые комплексы сложной структуры. В узких каналах невозможна независимая диффузия, а допустимо только однорядное движение ионов. Вследствие узости поры в канале могут происходить сильные ионноионные взаимодействия.

Естественно предположить, что повышение скорости движения ионов через канал, вызванное увеличением силы внутриклеточного тока, будет иметь последствия, аналогичные повышению концентрации электролита в цитоплазме фруктов. Ионы, находящиеся в канале, не будут успевать проходить через энергетические барьеры, существующие при входе и выходе из мембраны, а также через барьер внутри канала, что будет тормозить процесс их движения [5].

При движении через канал ион достаточно долго задерживается в каждой потенциальной яме. Перескок возможен только в пустую яму. Второй ион не может попасть в занятую потенциальную яму из-за электростатического взаимодействия с уже находящимся там ионом. Поскольку скорость поступления ионов в канал зависит от силы внутриклеточного тока, связанного с внешним электромагнитным полем, то вероятность перескока зависит от приложенного электрического поля. Следовательно, транспорт ионов следует рассматривать как серию последовательных перескоков через энергетические барьеры в канале.

Рассмотрим случай, когда профиль электрического потенциала в мембране с толщиной  $h$  линейен, а на него накладывается внешнее переменное электромагнитное поле  $E_{вн}$ , существующее внутри плодов фруктов благодаря их облучению ЭМП СВЧ. В этом случае уравнение Нернста-Планика, описывающее электродиффузию, приобретает вид неоднородного линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\frac{dc}{dr} + \frac{czF}{RT} (E_M + E_{вн}) = -\frac{J}{uRT}, \quad (5)$$

где:  $u$  – подвижность ионов;  $z$  – валентность иона;  $T$  – абсолютная температура;  $R$  – газовая постоянная;  $F$  – число Фарадея;  $c$  – концентрация ионов;  $\varphi$  – электрический потенциал на мембране;  $E_M = \varphi/h$  – напряженность электрического поля, створюваного на мембрані внутрішньоклітинними процесами;  $J$  – суммарная интенсивность потока.

В нашем случае  $|\vec{E}| = \sqrt{|E_r|^2 + |E_\phi|^2 + |E_\theta|^2}$ , что определяется выражениями (2)-(4).

Решение уравнения (5) дает концентрацию ионов, движущихся через мембрану митохондрий:

$$c = e^{-\frac{zF}{RT}(E_M r + \int |\vec{E}| dr)} \times \\ \times \left( K - \frac{J}{uRT} \int e^{\frac{zF}{RT}(E_M r + \int |\vec{E}| dr)} dr \right), \quad (6)$$

где  $K$  – произвольная константа.

Подставляя в выражение (6) значения концентраций ионов  $c$  на краях мембраны в плоскостях  $r = r_0$  и  $r = r_0 + h$ , а также воспользовавшись свойством интегралов, приводим выражение (6) к виду:

$$c = K e^{-\frac{zF}{RT}(E_M r + |\vec{E}(r_0)|r)} - \frac{J}{uzFE_M}, \quad (7)$$

где  $r_0$  – радиальная координата середины мембраны относительно центра сохраняемого фрукта.

Полагая, что концентрация ионов на внутренней стороне мембраны равна  $c'$ , а на внешней –  $c''$ , из равенства (7) можно найти выражение для величины интенсивности потока ионов сквозь мембрану, вызванного наличием приложенного внешнего ЭМП СВЧ.

Согласно А. Ходжкину и Б. Катцу [10] концентрации ионов на краях мембраны ( $c'$  для  $r = r_0$  и  $c''$  для  $r = r_0 + h$ ) пропорциональны соответственно концентрациям в наружном и внутреннем омывающих растворах  $c_0$  и  $c_i$ :

$$c' = y \cdot c_0; c'' = y \cdot c_i, \quad (8)$$

Данное утверждение позволяет вычислить суммарную интенсивность потока ионов через мембрану:

$$J = uzFE_M \gamma \frac{c_0 - c_i e^{\frac{zF}{RT}(E_M + |\vec{E}(r_0)|)h}}{1 - e^{\frac{zF}{RT}(E_M + |\vec{E}(r_0)|)h}} \quad (9)$$

Вводя в выражение (9) проницаемость мембраны  $P = \frac{uRT\gamma}{h}$  окончательно получим:

$$J = \frac{zF\phi P}{RT} \frac{c_0 - c_i e^{\frac{zF}{RT}(E_M + |\vec{E}(r_0)|)h}}{1 - e^{\frac{zF}{RT}(E_M + |\vec{E}(r_0)|)h}}, \quad (10)$$

Тогда значение плотности тока  $I$ , переносимого данным видом ионов, равно  $I = zFJ$ . Уравнение (10) позволяет рассчитать пассивный поток ионов, если известны их концентрация в растворах по обе стороны мембраны, естественная разность потенциалов на мембране, разность потенциалов, наведенная внешним ЭМП, и проницаемость мембраны для данного вида ионов. При наложении сверхвысокочастотного электромагнитного поля концентрация токопереносящих ионов в мембране повышается, что приводит соответственно к повышению их взаимодействия и возможному запираению канала.

Особенности взаимодействия иона с молекулярными группами канала учитываются соответствующими профилями потенциальной энергии иона в канале, который представляется рядом последовательных потенциальных ям и барьеров. Ион достаточно долго задерживается в каждой потенциальной яме. Перескок возможен только в пустую яму. Второй ион не может попасть в занятую потенциальную яму из-за электростатического взаимодействия с уже находящимся там ионом.

В работе [9] на основании Марковского процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем исследованы вероятностные процессы во время движение ионов через мембрану митохондрий и, соответственно, дыхание фруктов без воздействия внешнего электромагнитного поля, а также при его наличии. Скорость транспорта в канале будет зави сеть от вероятности заполнения ионами участков связывания на границах мембраны, что может приводить к заполнению обоих мест связывания и блокировке канала при высоких концентрациях электролита или при повышении интенсивности перемещения ионов под воздействием внешнего сверхвысокочастотного электромагнитного поля.

Рассмотрены четыре состояния канала, между которыми возможны переходы. Состояние 1 – левый участок занят, а правый свободен (1 0); состояние 2 – правый участок занят, а левый свободен (0 1); состояние 3 – оба участка заняты (1 1); состояние 4 – оба участка свободны (0 0). Каждое состояние описывается своей вероятностью. Для нахождения соответствующих вероятностей составлена и решена система дифференциальных уравнений Колмогорова [10].

Полученные результаты показали, что при отсутствии внешнего наложенного электромагнитного поля система переходит в стационарное состояние. При этом она с вероятностью порядка 0,3 будет находиться или в состоянии (1 0) или (0 1). Иначе говоря, с вероятностью порядка 0,6 будет занят только один выход из канала движения ионов. Вероятность состояния (0 0) (оба выхода из канала дыхания свободны) становится также порядка 0,3.

Следовательно, это свидетельствует о низкой вероятности отсутствия перемещения ионов по каналу в обе стороны, если на них воздействует только электрохимический потенциал клетки, а в самом канале для них нет препятствий. Открытое состояние одного из концов канала позволяет беспрепятственно перемещаться иону сквозь канал и выходить из него наружу.

Данный результат говорит о том, что процесс дыхания с большой вероятностью порядка 0,9 проходит без блокировки.

При наложении на мембраны клетки внешнего электромагнитного поля с частотой 33,5...36 ГГц и искусственно создаваемого потенциала на мембране величиной 120 мВ ситуация принципиально меняется. В данном случае вероятности состояний (1 0) или (0 1) со временем становятся порядка 0,1, то есть в сумме порядка 0,2. Вероятность состояния (0 0), когда канал открыт с обоих концов, меньше 0,1. Таким образом, суммарная вероятность свободного движения ионов по каналам равна примерно 0,3. В то же время вероятность блокировки каналов, то есть вероятность  $p_3$  состояния (1 1), возрастает до 0,7. Следовательно, при наложении на хранящиеся фрукты внешнего электромагнитного поля СВЧ диапазона с указанными выше параметрами вероятность возможной блокировки каналов движения ионов возрастает практически в семь раз. Соответственно в семь раз будет замедляться и обмен веществ на уровне мембран клетки и процесс их дыхания, что естественно скажется на сроках хранения фруктов.

**Выводы.** Таким образом, рассмотрена возможность влияния на процесс переноса ионов через мембраны растительных клеток, что определяет интенсивность их дыхания и длительность хранения, с помощью внешних сверхвысокочастотных электромагнитных полей. С этой целью получены выражения для этих полей внутри клеток. Движение ионов сквозь каналы в мембранах представлено как однонаправленный поток, который может тормозиться потенциальными барьерами, создаваемыми не вышедшими из каналов ионами. С помощью системы уравнений Колмогорова, которые описывают рассматриваемый Марковский процесс, получены вероятностные характеристики свободного и замедленного переноса ионов.

#### Литература:

1. Бородай, И. И. Биохимические и биофизические основы хранения плодов [Текст] / И. И. Бородай // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко «Проблемы энергообеспечения и энергосбережения в АПК Украины». – 2016. – № 176. 84–87 с.

2. Гудковский, В. А. Прогрессивные технологии хранения плодов [Текст] / В. А. Гудковский, А. А. Кладь, Л. В. Кожина, А. Е. Балакирев, Ю. Б. Назаров // Достижения науки и техники. АПК. – 2009. – № 2. 66–68 с.

3. Бородай, И. И. Анализ методов и устройств контроля дыхания плодов при воздействии на них электромагнитного излучения [Текст] / И. И. Бородай, Н. П. Кунденко // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко «Проблемы энергообеспечения и энергосбережения в АПК Украины». – 2016. – № 175. 166–168 с.

4. Гудковский, В. А. Эффективность модифицированной атмосферы и ингибитора биосинтеза этилена для хранения плодов, ягод и овощей [Текст] / В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, А. Е. Балакирев, Ю. Б. Назаров // Вестник МичГАУ. – 2009. – № 1. 53–64 с.

5. Бородай, И. И. Моделирование процесса переноса ионов через мембраны клеток под воздействием внешнего электромагнитного поля [Текст] / И. И. Бородай // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Системный анализ, управление и информационные технологии. – 2016. – № 45. 18–21 с.

6. Konstantinov, I. S. Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals [Text] / I. S. Konstantinov, A. V. Mamatov, V. A. Sapryka, A. D. Cherenkov, A. V. Sapryka, N. G. Kosulina // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – № 6 (6). – P. 1686–1694.

7. Рубин, А. Б. Биофизика. Том 1. Теоретическая биофизика [Текст] / А. Б. Рубин. – М.: МГУ, 1999. – 448 с.

8. Konstantinov, I. S. Decision algorithm of near-field microwave sounding [Text] / I. S. Konstantinov, A. V. Mamatov, V. A. Sapryka, A. D. Cherenkov, A. V. Sapryka, A. E. Poedinchuk // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. – P. 45186–45189.

9. Дынкин, Е. Б. Марковские процессы [Текст] / Е. Б. Дынкин. – М.: Физматлит, 1963. – 860 с.

10. Волькенштейн, М. В. Биофизика [Текст] / М. В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1988. – 592 с.

## References:

1. Borodaj, I. I. (2016). Biohimicheskie i biofizicheskie osnovy hranenija plodov. Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta sel'skogo hozjajstva im. P. Vasilenko «Problemy jenergoobespečenija i jenergosbereženija v APK Ukrainy», 176, 84–87.

2. Gudkovskij, V. A., Klady, A. A., Kozhina, L. V., Balakirev, A. E., Nazarov, Ju. B. (2009). Progressivnye tehnologii hranenija plodov. Dostizhenija nauki i tehniki. APK, 2, 66–68.

3. Borodaj, I. I., Kundenko, N. P. (2016). Analiz metodov i ustrojstv kontrolja dyhanija plodov pri vozdeystvii na nih jelektromagnitnogo izluchenija. Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta sel'skogo hozjajstva im. P. Vasilenko «Problemy jenergoobespečenija i jenergosbereženija v APK Ukrainy», 166–168.

4. Gudkovskij, V. A., Kozhina, L. V., Balakirev, A. E., Nazarov, Ju. B. (2009). Jeftektivnost' modifizirovannoj atmosfery i ingibitora biosinteza jetilena dlja hranenija plodov, jagod i ovoshhej. Vestnik MichGAU, 1, 53–64.

5. Borodaj, I. I. (2016). Modelirovanie processa perenosa ionov cherez membrany kletok pod vozdeystviem vneshnego jelektromagnitnogo polja. Vestnik NTU "HPI". Serija: Sistemnyj analiz, upravlenie i informacionnye tehnologii, 45, 18–21.

6. Konstantinov, I. S., Mamatov, A. V., Sapryka, V. A., Cherenkov, A. D., Sapryka, A. V., Kosulina, N. G. (2015). Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals. Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 6 (6), 1686–1694.

7. Rubin, A. B. (1999). Biofizika. Tom 1. Teoreticheskaja biofizika. Moscow: MGU, 448.

8. Konstantinov, I. S., Mamatov, A. V., Sapryka, V. A., Cherenkov, A. D., Sapryka, A. V., Poedinchuk, A. E. (2015). Decision algorithm of near-field microwave sounding. International Journal of Applied Engineering Research, 10, 45186–45189.

9. Dynkin, E. B. (1963). Markovskie process. Moscow: Fizmatlit, 860.

10. Vol'kenshtejn, M. V. (1988). Biofizika. Moscow: Nauka, 592.

## Анотація

### Вплив зовнішнього електромагнітного поля на фізіологічні процеси обміну у плодах фруктів

І.І. Бородай

Розглянуто можливість уповільнення процесів дихання рослинних клітин за допомогою високочастотного електромагнітного випромінювання, яке дозволяє збільшити строки зберігання й зберегти якість продукції. Для уповільнення процесів дихання і збільшення термінів зберігання плодовоовочевої продукції було розглянуто процес перенесення іонів і протонів через мембрану клітини. Визначення чисельних значень біотропних параметрів інформаційного електромагнітного випромінювання для інгібування синтезу етилену, що виділяється плодовоовочевою продукцією, на основі моделей, що описують процес дихання рослинної клітини під впливом електромагнітного випромінювання. Для гальмування інтенсивності дихання

плодів описано процес регулювання переносу іонів і протонів через мембрану мітохондрій. Отриманий вираз для щільності струму через мембрану клітини, що дозволяє визначити частоту електромагнітного випромінювання і наведений потенціал на мембрані, які призводять до блокування дихання плодів в процесі їх тривалого зберігання. Теоретичні розрахунки значень біотропних параметрів електромагнітного поля для максимального блокування руху іонів через канали в мембрані клітини дорівнюють електромагнітним випромінюванням із частотою 33,5...36 ГГц, а штучно створений потенціал на мембрані не повинен бути більшим 120 мВ. Вплив зовнішнім електромагнітним випромінюванням з оптимальними параметрами підвищує імовірність можливого блокування каналів руху іонів практично в 7-8 разів. Відповідно таких умов буде вповільнюватися й обмін речовин на рівні мембран клітки й процес їх дихання, що природно позначиться на строках зберігання фруктоовочевої продукції.

**Ключові слова:** мембрана, рух іонів, електромагнітне поле, блокування дихання плодів, інтенсивність потоку, напруженість електричного поля.

## Abstract

### Influence of external electromagnetic field on physiological metabolic processes in plant cells

I.I. Borodai

The possibility of slowing down the respiration processes of plant cells with the help of high-frequency electromagnetic radiation, which allows to increase the shelf life and maintain product quality, is considered. To slow down the respiratory processes and increase the shelf life of fruits and vegetables, the process of transfer of ions and protons across the cell membrane was considered. Determination of numerical values of biotropic parameters of information electromagnetic radiation for inhibition of synthesis of ethylene released by fruit and vegetable products, on the basis of models describing the process of plant cell respiration under the influence of electromagnetic radiation. To inhibit the intensity of fetal respiration, the process of regulating the transport of ions and protons across the mitochondrial membrane is described. The expression for the current density through the cell membrane is obtained, which allows to determine the frequency of electromagnetic radiation and the potential on the membrane, which lead to blocking the respiration of fruits during their long-term storage. Theoretical calculations of the values of biotropic parameters of the electromagnetic field for maximum blocking the movement of ions through channels in the cell membrane are equal to electromagnetic radiation with a frequency of 33.5... 36 GHz, and the artificial potential on the membrane should not exceed 120 mV. Exposure to external electromagnetic radiation with optimal parameters increases the probability of possible blocking of the channels of ion movement by almost 7-8 times. According to such conditions, the metabolism at the level of cell membranes and the process of their respiration will slow down, which will naturally affect the shelf life of fruit and vegetables.

**Keywords:** membrane, ion motion, electromagnetic field, fruit respiration blocking, flux intensity, electric field strength.

#### Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Borodai, I.I. (2021). Influence of external electromagnetic field on physiological metabolic processes in plant cells. *Engineering of nature management*, (4(22), pp. 104 - 109.

Подано до редакції / Received: 15.11.2021