

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference
March 15-16, 2017**

Алматы, 2017

УДК 621.56/59(063)

ББК 31.392

К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта
2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплохладоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)

ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

УДК 577.3

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯ

*Бошкова И.Л., д.т.н., Волгушева Н.В., к.т.н.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Украина
E-mail: ira_boshkova@mail.ru, n-volgusheva@mail.ru*

Исследования влияния микроволнового электромагнитного поля на семена агрокультур доказали, что при определенных условиях микроволновой обработки наблюдается значительное усиление энергии всхожести и прорастания, повышение сопротивляемости к неблагоприятным факторам окружающей среды, и, в конечном счете, увеличению урожая [1,2]. Гипотеза возникновения эффекта биостимуляции рассмотрена в [3], согласно которой данный эффект связан с улучшением транслокации питательных веществ к зародышу вследствие повышения проницаемости растительной ткани. На основании гипотезы определяющего влияния МВ поля на транспортные свойства растительной ткани, была создана методика, позволяющая оценить допустимое время воздействия МВ поля на обрабатываемый биологический материал. Представляется следующая схема протекания процессов в семенах при их МВ обработке. Вначале протекает квазиизобарный процесс в объеме растительной клетки. В то же время в замкнутых микрообъемах, содержащих молекулы воды, стремительно растет давление, что приводит к расширению микрофибрилл, вызывая увеличение проницаемости капиллярно-пористой структуры растительной ткани. При дальнейшем подводе МВ энергии, когда клетки уже не в состоянии увеличивать свой объем, начинается нарастание давления в цитоплазме, что в конечном счете приводит к нарушению целостности

клеточных оболочек. Дальнейшее пребывание семян под действием МВ ЭМП приводит к перегреву, способного нарушить структуру белковых молекул, выносу жидкости и растворенных веществ под действием градиента температуры и давления за пределы зерна, карамелизации сахаров. Последние режимы являются недопустимыми. Целью исследований являлась оценка длительности предпосевной обработки семян в микроволновом поле для достижения эффекта биостимуляции.

Объектом исследования являются эффекты взаимодействия энергии микроволнового поля с материалами животного и растительного происхождения. В случае заражения семян насекомыми-вредителями микроволновая обработка должна приводить как к биостимуляции, так и к дезинсекции. Для оценки расчетным путем длительности экспозиции в микроволновой камере составлена методика, основанная на представлении процессов преобразования микроволновой энергии во внутреннюю и на анализе ультраструктуры растительных клеток. Естественную структуру растительной клетки можно рассматривать как замкнутый объем, а комбинация таких клеток образует более сложную систему, в которой клетки контактируют с межклеточным пространством, образующим общую систему капиллярных каналов. И клеточные стенки, и мембраны в целом радиопрозрачны. Основное содержимое клеток составляет вода и растворы веществ на ее основе. Около 5 % от массы мембран составляет вода в связанном состоянии. Клеточная стенка вместе с плазматической мембраной (плазмалеммой) образуют замкнутый полупроницаемый объем. Сама по себе клеточная стенка (как правило, композиции на основе целлюлозы) содержит в своей структуре достаточно хорошо проходимые каналы (плазмодесмы), которые сообщаются с межклеточным пространством или другими клетками. При среднем определяющем размере клетки $4 \cdot 10^{-5}$ м толщина клеточной стенки составляет $4 \cdot 10^{-7}$ м, диаметр каналов $10^{-7} \dots 10^{-8}$ м. Высокие прочностные свойства стенки определяются упорядоченностью молекулярных цепочек полимеров целлюлозы. Можно представить клетку как замкнутый объем, а система (ансамбль) клеток представляют собой структуру, которая объединяет множество замкнутых объемов. Основное сопротивление массопереносу из объема клетки за ее пределы (а, следовательно, и всему процессу экстракции) составляют плазматические мембраны (плазмалеммы), обладающие собственной устойчивой высокоупорядоченной структурой и функционально регулирующие массо- и энергообмен клетки с окружающей ее средой, размер (толщина) мембран растительных структур порядка 0,1 нм. Клеточная мембрана эластична, через нее осуществляется поступление питательных веществ и жидкости в клетку и вывод продуктов жизнедеятельности путем диффузии и осмоса.

В общем виде расчет предлагается проводить по следующему алгоритму.

1. Для каждой расчетной единицы определить максимально допустимый объем V_K - т.е. тот объем, который может быть достигнут при термическом расширении цитоплазмы.

2. Изменение температуры в процессе увеличения объема от V_0 до V_K определяется из соотношения: $\Delta t = \frac{V_K - V_0}{\beta V_0}$, где β - коэффициент температурного расширения воды с учетом влагосодержания расчетной единицы.

3. Определяется количество теплоты, поглощенной в этом процессе:

$$Q = Mc_p \Delta t + P \Delta V, \text{ Дж} \quad (1)$$

Для дальнейших расчетов с целью повышения точности рекомендуется пользоваться зависимостью, которая позволяет определить количество теплоты, затраченное на нагрев всего объема зерна массой M до расчетной температуры:

$$Q = M \cdot c \cdot \Delta t, \text{ Дж} \quad (2)$$

4. Время, в течение которого это тепло было получено:

$$\tau = Q / (q \cdot V), \text{ с;} \quad (3)$$

где V - объем материала, $q = 0.556 \cdot 10^{-10} \epsilon' \cdot \text{tg} \delta \cdot E^2$, Вт/м³.

В течение этого времени рост давления не будет представлять опасности для организма, и, если температура не достигает критического значения, семена проходят стадию биостимуляции.

Далее клеточные стенки (оболочки) не в состоянии увеличивать свой объем. Внутри объекта при дальнейшем подводе энергии МВ поля начинает резко расти давление. В целом же теплота идет на увеличение температуры тела и изменение давления согласно первому закону термодинамики:

$$Q = \Delta H - V \Delta P, \text{ Дж} \quad (4)$$

Связь температуры и давления можно задать только приближенно, т.к. уравнения состояния таких сложных смесей как цитоплазма не существует. В первом приближении расчет рекомендуется проводить, приняв свойства цитоплазмы равными свойствам воды.

Пользуясь приведенной выше методикой, были проведены расчеты, целью которых было определение температуры и давления в конце процесса обработки в зависимости от влагосодержания и времени воздействия. При расчете давления предполагалось, что оболочки тела жестко фиксированы клеточными стенками, т.е. случай, наиболее характерный для спор и склероций. Расчет носит оценочный характер, однако позволяет предсказать реакцию биологического объекта на МВ-поле.

Объем растительной клетки зародыша зерна по данным [4] ориентировочно составлял $V_0 = 3,35 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3$. Максимально допустимый объем клетки, оценка которого проведена по данным [4], составляет $V_K = 3,366 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3$. Тогда изменение температуры: $\Delta t = \frac{V_K - V_0}{\beta \cdot \bar{V}} = \frac{0,016 \cdot 10^{-14}}{2,86 \cdot 10^{-4} \cdot 3,358 \cdot 10^{-14}} = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$, и при начальной температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ конечная температура составит $t_K = 36,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Теплоемкость зерна пшеницы определяется по зависимости:

$$c = 0,01[c_0(100 - w) + c_g \cdot w] \quad (5)$$

где W - влажность зерна, c_0 - теплоемкость сухого материала.

Для пшеницы с влажностью $w = 14 \%$:

$$c = 0,01[1470(100 - 14) + 4200 \cdot 14] = 1852 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}.$$

При массе загрузки 1 кг теплота нагрева:

$$Q = M \cdot c \cdot \Delta t = 1 \cdot 1852 \cdot 26,2 = 48522 \text{ Дж}$$

Время, в течение которого это тепло было получено (мощность источника микроволнового поля – 1 кВт, объем загрузки камеры – $1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$):

$$\tau = Q / (q \cdot \bar{V}) = 48522 / (489587 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3}) = 86 \text{ с};$$

Аналогично рассчитываются данные для других значений. Ниже приведены результаты расчетов, полученные для описанных выше исходных данных при разных влагосодержаниях.

На рис. 1 представлены результаты расчета граничной кривой по времени обработки семян пшеницы в микроволновой камере при выходной мощности магнетрона 1 кВт в зависимости от влажности.

Начальная температура материала оказывает существенное влияние на значение допустимого времени обработки, что связано с зависимостью от температуры диэлектрических характеристик и коэффициента объемного (температурного) расширения. При расчете предполагалось, что начальная температура зерна и температура окружающей среды одинаковы.

При расчете учитывалось изменение диэлектрических характеристик в зависимости от влагосодержания. Расчеты удовлетворительно коррелируются с результатами, полученными при лабораторных и полевых испытаниях семян [5].

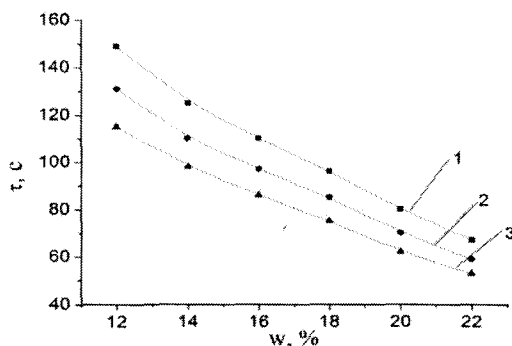


Рисунок 1 – Допустимое время микроволновой обработки семян пшеницы в зависимости от влажности: 1 – начальная температура 10 °C, 2 – начальная температура 15 °C, 3 – начальная температура 20 °C. Выходная мощность магнетрона – 1 кВт.

Часто обрабатываемые семена содержат насекомых-вредителей и фитопатогены, влияние на которых микроволнового излучения будет различно. Для расчета повышения температуры каждый из биообъектов должен рассматриваться отдельно. Особенности этих объектов, учитываемые при

проведении расчетов, приведены в табл. 1. Насекомые-вредители, влажность которых существенно выше, за время, в течение которого семена находятся в безопасной для своей жизнедеятельности области, нагреются до недопустимо высокой температуры.

Таблица 2 – Исследуемые биологические объекты

Биологический объект		
Фитопатогены	Семена	Насекомые-вредители
Спора, окруженная жесткой оболочкой гифа	Растительная клетка, окруженная клеточной стенкой	Насекомое как целое без учета его внутренней структуры

Температура насекомых-вредителей, достигаемая за заданный промежуток времени, определяется формулой:

$$t_n = q \cdot V_n \cdot \tau / (m_n \cdot c_n) + t_0 \quad (6)$$

где $m_n = 3,02 \cdot 10^{-6}$ кг (ориентировочный вес амбарного долгоносика). Электрофизические свойства насекомых при влажосодержании $W = 60\%$: $\epsilon' = 48$, $tg\delta = 0.33$; $W = 80\%$: $\epsilon' = 64$, $tg\delta = 0.25$. Из-за высокого влажосодержания термические эффекты развиваются очень быстро. Так, в течение 85 с (длительность выдержки семян с влажностью 12 %), и принимая $t_0 = 20$ °С, температура насекомых достигнет следующего значения:

$$t_n = 522600 \cdot 6,86 \cdot 10^{-9} \cdot 115 / (3,02 \cdot 10^{-6} \cdot 3200) + 20 = 63 \text{ °С}$$

Результаты расчетов конечных температур, достигаемых при обработке семенного материала при длительности нахождения в СВ поле, определенной по изложенной выше методике, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние начальной температуры зернового материала на конечную температуру амбарного долгоносика

Начальная температура, °С	Длительность обработки, с	Конечная температура, °С		
		Амбарный долгоносик <i>Sitophilus granarium</i> .	Рисовый долгоносик <i>Sitophilus oryzae</i> L.	Зерновой шашель <i>Rh. dominica</i> F.
10	149	66	72	63
15	131	65	71	62
20	115	63	69	59

Из анализа результатов видно, что, когда в зерне при влажности 12% проходят стимулирующие процессы, одновременно осуществляется дезинсекция.

Расчет, проведенный для спор, показал, что, вследствие их низкого влажосодержания, микроволновое поле в режимах биостимуляции не оказывает на них губительное действие. Поэтому обработка семян, зараженных черной головней, не приводила к одновременной дезинфекции. Склероции, влажосодержание которых значительно выше, могут получать повреждающий эффект.

Методика расчета допустимого времени выдержки семян в микроволновом поле позволяет количественно оценить длительность предпосевной обработки семян с целью их биостимуляции. Результаты расчета подтверждают предположение, что микроволновая биостимуляция сопровождается одновременной дезинсекцией зараженного зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nelson S.O. Use of microwave and lower frequency RF energy for improving Alfalfa seeds germination [Text] / S.O. Nelson // J. Of Microwave Power, 1976. – Vol. 11. – No. 3.– P. 271-277.
2. Калинин Л.Г. Предпосевная обработка микроволновым полем здоровых и зараженных фитопатогенами семян озимой пшеницы как фактор повышения урожайности [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Хранение и переработка зерна, 2001. – № 8. – С. 23-28.
3. Калинин Л.Г. Физическая модель отклика растительной ткани на воздействие микроволнового электромагнитного поля [Текст] / Л.Г. Калинин, И.Л. Бошкова // Биофизика, 2003. – Т. 48 – Вып. 1. – С. 122-124.
4. Атлас ультраструктуры растительных клеток / Под ред. Козубова Г.М. и Даниловой М.Ф. – Петрозаводск.: изд-во АН СССР Карельский филиал, 1972. – 296 с.
5. Калинин Л.Г. Использование микроволнового поля для повышения урожайности полевых культур и защиты семян от вредителей и болезней [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – Одесса, 2002. – Вып. 4. – С. 8-35.