

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ НАГРЕВА СЕМЯН В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Г.И. Цугленок

В процессе обеззараживания семян энергией высокочастотного поля необходимо путем увлажнения разделить свойства семян и паразитирующих грибных и вирусных инфекций, находящихся на их поверхности. Это утверждение положено в основу авторского свидетельства [1].

Изобретение заключается в следующем: предварительно увлажненные в течение 3-15 мин семена обрабатываются в электромагнитном поле высокой частоты. При этом происходит полное уничтожение поверхностной инфекции.

Для описания процесса предпосевной высокочастотной обработки семян взяты два случая: без увлажнения, с увлажнением (обеззараживание).

Уравнения теплового баланса (кДж) имеют вид:

- для высокочастотной обработки без увлажнения

$$Q_{об} = Q_3 + Q_n, \quad (1)$$

- для высокочастотной обработки с увлажнением

$$Q_{об} = Q_3 + Q_в + Q_n, \quad (2)$$

где $Q_{об}$ - общее количество тепла, подведенное в обрабатываемую массу семян;

Q_3 - количество тепла, выделяемое в семенах;

$Q_в$ - количество тепла, выделяемое в пленке воды, находящейся на поверхности семян;

Q_n - потери, связанные с испарением и размерами рабочей камеры.

Для определения влияния параметров электромагнитного поля на температуру зерновой массы, расшифруем их значения.

$$\int d\tau = \int_{t_0}^{t_3} \frac{C_3}{P_{y\partial 3} - a_3 t} dt,$$

$$\tau = -\frac{C_3}{a_3} \ln \left| P_{y\partial 3} - a_3 t \right| \Big|_{t_0}^{t_3},$$

$$\tau = -\frac{C_3}{a_3} \left(\ln \left| P_{y\partial 3} - a_3 t_3 \right| - \ln \left| P_{y\partial 3} - a_3 t_0 \right| \right),$$

$$\tau = -\frac{C_3}{a_3} \ln \left| \frac{P_{y\partial 3} - a_3 t_3}{P_{y\partial 3} - a_3 t_0} \right|,$$

$$\frac{P_{y\partial 3} - a_3 t_3}{P_{y\partial 3} - a_3 t_0} = e^{-\frac{\tau}{C_3/a_3}}, \quad P_{y\partial 3} - a_3 t_3 = e^{-\frac{\tau}{C_3/a_3}} (P_{y\partial 3} - a_3 t_0),$$

$$a_3 t_3 = P_{y\partial 3} - e^{-\frac{\tau}{C_3/a_3}} (P_{y\partial 3} - a_3 t_0).$$

$$\text{Если } Q_3 = P_{y\partial 3} d\tau,$$

где $P_{y\partial 3}$ - удельная мощность, выделяемая электромагнитным полем в массе семян, кВт/кг;

$d\tau$ - время воздействия на семена, с,

то уравнение теплового баланса для сухого зерна имеет вид:

$$P_{y\partial 3} d\tau = c_3 dt_3 + a_3 t_3 d\tau, \quad (3a)$$

где c_3 - удельная теплоемкость зерна, кДж/кг °С;

a_3 - удельная теплоотдача зерна, кВт/м² °С;

t_3 - температура нагрева зерна, °С,

а для пленки воды соответственно:

$$Q_в = p_{y\partial в} d\tau,$$

$$P_{y\partial в} d\tau = C_в dt_в + a_в t_в d\tau, \quad (3б)$$

где $P_{y\partial в}$ - удельная мощность, выделяемая в пленке воды, кВт/кг;

$d\tau$ - время нагрева, с;

$C_в$ - удельная теплоемкость пленки воды, кДж/кг °С;

$a_в$ - удельная теплоотдача воды, кВт/м² °С;

$t_в$ - температура нагрева пленки воды, °С.

Решим полученное уравнение. Разделим обе части уравнения (3а) на произведение $C_3 \partial \tau$.

Получим:

$$\frac{P_{y\partial 3}}{C_3} = \frac{dt}{d\tau} + \frac{a}{c} t, \quad \text{или} \quad \frac{d\tau}{dt} = \frac{C_3}{P_{y\partial 3} - a_3 t}.$$

Проинтегрируем уравнение при $t_1 = t_0$ и $t_2 = t_3$.

$$t_3 = \frac{P_{y03}}{a_3} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} \right) - e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} t_0. \quad (4)$$

Из уравнения (4) можно определять температуру сухого зерна t_3 , обрабатываемого за время τ в ЭМПВЧ.

Аналогично определяем температуру нагрева пленки воды:

$$t_6 = \frac{P_{y06}}{a_6} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{c_6/a_6}} \right) - e^{-\frac{\tau}{c_6/a_6}} t_0. \quad (5)$$

После расчета температуры нагрева сухих семян (4) получены кривые нагрева (рис. 1).

При высокочастотном подводе тепла температура сухих семян изменяется в зависимости от изменения экспозиции (времени) нагрева и частоты электромагнитного поля (ЭМП). При этом с увеличением частоты ЭМП, т.е. с увеличением скорости нагрева температура семян увеличивается. Аналогично с увеличением экспозиции температура нагрева семян увеличивается. На основании полученных зависимостей для проведения исследований и определения режимов предпосевной высокочастотной обработки можно предварительно выбирать пределы варьирования частоты ЭМПВЧ $f = 19...27$ МГц и экспозиции $\tau = 30...150$ с, позволяющие нагревать семена на допустимую температуру.

При расчете температуры нагрева предварительно увлажненных семян (4, 5) температура пленки воды, находящейся на поверхности семени, с течением времени обработки резко возрастает по сравнению с температурой сухих семян (рис. 2). Разность в нагреве пленки воды и сухого семени позволяет сделать вывод о том, что споры твердой головни, находящиеся в увлажненном состоянии на его поверхности, нагреваются до температуры пленки воды и гибнут.

При этом среднеинтегральная температура нагрева семени не превышает предельно допустимую. При этом способе семена проходят тепловой обогрев, что должно оказывать положительное влияние на предпосевную обработку семян, повышая их посевные качества и урожайность.

Реализация на экспериментальной установке матрицы плана Хартли позволила получить адекватное уравнение регрессии:

$$x_1 = \tau, x_2 = f, x_3 = T, x_4 = N$$

по температуре массы семян после обработки в ЭМПВЧ

$$t_1 = 44,6 - 6,5\tau^2 - 2,0f^2 + 17\tau + 8,5f + 4,3\tau f, \quad (6)$$

где τ - экспозиция нагрева семян, с;

f - частота ЭМПВЧ, МГц;

t_1 - температура зерна (сухая) после обработки в ЭМПВ, °С.

Полученное уравнение протабулировано в соответствии с различными сочетаниями $x_j, j = \overline{1,2}$ на интервале $(-1;1)$ с шагом $h = 0,5$.

Графическая интерпретация (рис. 1) изменения температуры нагрева сухих семян, полученная по эмпирическому уравнению (4), показывает, что она в начальный момент увеличивается прямо пропорционально времени обработки $\tau = 30...90$ с, с дальнейшим увеличением экспозиции $\tau = 90...150$ с кривые нагрева приобретают экспоненциальный характер (рис. 3).

При сравнении теоретических (рис. 1) и эмпирических (рис. 3) зависимостей видно, что уравнения адекватно описывают процесс нагрева сухих семян в высокочастотном поле. Это говорит о том, что теоретическая модель, описывающая нагрев семян пшеницы в ЭМПВЧ, выбрана верно и позволяет с ее помощью рассчитать предельно допустимую температуру нагрева семян.

В результате реализации матрицы плана Хартли (H_3) 2^{3-1} и определения коэффициентов по методике исследований обеззараживания семян пшеницы от твердой головни получено адекватное уравнение регрессии по температуре:

$$t_2 = 41,5 + 8,8t_w + 18,5\tau + \tau t_w, \quad (7)$$

где t_2 - температура нагрева увлажненных семян, °С;

t_w - время увлажнения семян, мин

τ - экспозиция нагрева, с.

На рисунке 4 приведена зависимость изменения температуры нагрева массы семян t_0 от времени их увлажнения t_w и экспозиции обработки τ в ЭМПВЧ. Результаты данной зависимости показывают, что с увеличением времени нагрева температура растет. Ее абсолютная величина изменяется только с изменением времени увлажнения t_w . С увеличением времени увлажнения t_w от 1 до 31 минуты начальная влажность изменяется от 16 до 28%, меняется и глубина проникновения влаги в семена. Соответственно изменяется и температура нагрева семян. В первые минуты увлажнения температура нагрева семян плавно падает за счет потери энергии на испарение влаги. Затем, с дальнейшим увеличением времени увлажнения и соответственно начальной влажности, температура семян возрастает. Таким образом, среднеинтегральная температура единичного семени зависит от глубины проникновения и наличия в нем влаги. Преобладание поверхностной влаги вызывает более сильный нагрев поверхности семени, а следовательно, и спор твердой головни, находящихся на его поверхности.

Избирательное действие ВЧ нагрева позволяет использовать более высокие температуры в зоне месторасположения спор твердой головки, несмотря на то, что среднеинтегральная температура массы семян лежит в пределах $t = 15...58\text{ }^{\circ}\text{C}$, при экспозиции $\tau = 15...25\text{ с}$.

Сравнивая теоретические кривые по температуре нагрева увлажненных семян (рис. 2) с

графическими зависимостями, полученными экспериментальным путем (рис. 4), можно сделать вывод, что полученное уравнение, определяющее температуру нагрева увлажненных семян, адекватно описывает процесс и позволяет рассчитывать допустимую температуру нагрева семян при их обеззараживании в ЭМПВЧ.

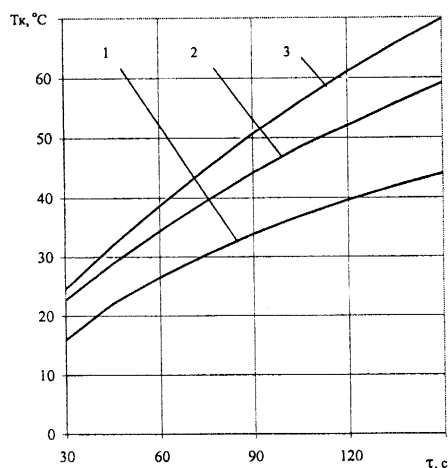


Рис. 1. Теоретические зависимости температуры семян пшеницы T_k от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим стимуляции):

- 1 – при частоте ЭМПВЧ 19 МГц;
- 2 – при частоте ЭМПВЧ 23 МГц;
- 3 – при частоте ЭМПВЧ 27 МГц

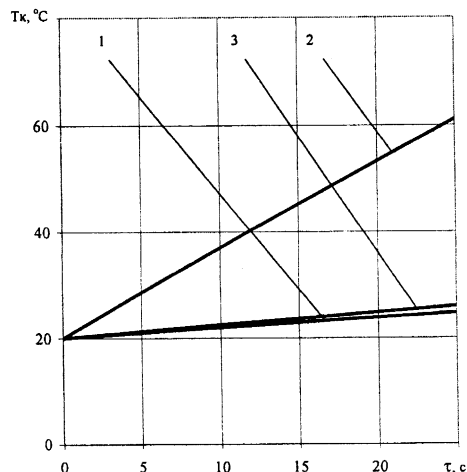


Рис. 2. Теоретические зависимости температуры T_k : сухой составляющей семян пшеницы (1), поверхностной влаги (2) и интегральной температуры нагрева семян (3) от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим обеззараживания)

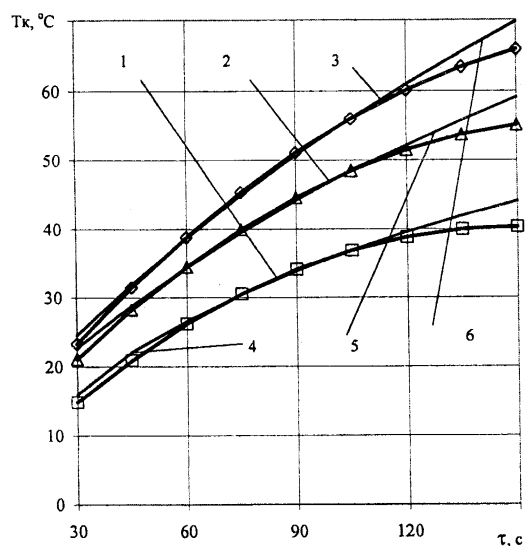


Рис. 3. Экспериментальные (1-3) и теоретические (4-6) зависимости температуры семян пшеницы T_k от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим стимуляции):

- 1, 4 – при частоте ЭМПВЧ 19 МГц;
- 2, 5 – при частоте ЭМПВЧ 23 МГц;
- 3, 6 – при частоте ЭМПВЧ 27 МГц

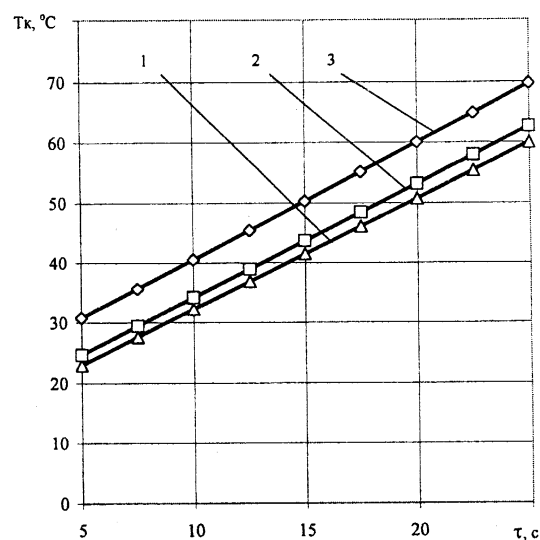


Рис. 4. Экспериментальные зависимости температуры поверхности семян пшеницы T_k от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим обеззараживания):

- 1 – при времени увлажнения 16 мин;
- 2 – при времени увлажнения 23,5 мин;
- 3 – при времени увлажнения 31 мин

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.с. № 563938 СССР. Способ обработки семян сельскохозяйственных культур / Г.И. Цугленок, Н.В. Цугленок. Оpubл. 16.03.1977. Бюл. № 25.
2. Нетушил А.Б. Современное состояние и перспективы промышленного нагрева непроводниковых материалов в электрическом поле высокой частоты // Промышленное применение токов ВЧ. Электротермия. – М., 1961.
3. Птицын С.Д., Елизаров В.П. Исследования электрических свойств влажного зерна // НТБ ВИИ. Вып. 7-8. - М., 1970.
4. Суворов С.С. Диэлектрический нагрев и сушка пшеницы // Вопросы качества переработки зерна: Тр. ВНИИЗ. - Вып. 4. - М., 1952.