

## 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

$$Q_{об} = Q_3 + Q_{п}, \quad (1)$$

- для высокочастотной обработки с увлажнением

$$Q_{об} = Q_3 + Q_{в} + Q_{п}, \quad (2)$$

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;

$Q_{п}$  - потери, связанные с испарением и размерами рабочей камеры.

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

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

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

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

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

$$\frac{P_{y\partial 3} - a_3 t_3}{P_{y\partial 3} - a_3 t_0} = e^{-\frac{\tau}{c_3}}, \quad P_{y\partial 3} - a_3 t_3 = e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} (P_{y\partial 3} - a_3 t_0),$$

$$a_3 t_3 = P_{y\partial 3} - e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} (P_{y\partial 3} - a_3 t_0).$$

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  $^0\text{C}$ ;

$a_3$  - удельная теплоотдача зерна, кВт/м $^2$   $^0\text{C}$ ;

$t_3$  - температура нагрева зерна,  $^0\text{C}$ ,

а для пленки воды соответственно:

$$Q_{в} = P_{y\partial 3} d\tau,$$

$$P_{y\partial 3} d\tau = C_{в} dt_{в} + a_{в} t_{в} d\tau, \quad (3b)$$

где  $P_{y\partial 3}$  - удельная мощность, выделяемая в пленке воды, кВт/кг;

$d\tau$  - время нагрева, с;

$C_{в}$  - удельная теплоемкость пленки воды, кДж/кг  $^0\text{C}$ ;

$a_{в}$  - удельная теплоотдача воды, кВт/м $^2$   $^0\text{C}$ ;

$t_{в}$  - температура нагрева пленки воды,  $^0\text{C}$ .

Решим полученное уравнение. Разделим обе части уравнения (3a) 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  $t_2 = t_3$ .

$$t_3 = \frac{P_{y\partial 3}}{a_3} \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} \right) - e^{-\frac{\tau}{c_3/a_3}} t_0. \quad (4)$$

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

Аналогично определяем температуру нагрева пленки воды:

$$t_e = \frac{P_{y\partial e}}{a_e} \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{c_e/a_e}} \right) - e^{-\frac{\tau}{c_e/a_e}} t_0. \quad (5)$$

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  $\tau$  - экспозиция нагрева семян, с;

$f$  - частота ЭМПВЧ, МГц;

$t_1$  - температура зерна (сухая) после обработки в ЭМПВЧ,  $^{\circ}\text{C}$ .

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:

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

где  $t_2$  - температура нагрева увлажненных семян,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_w$  - время увлажнения семян, мин

$\tau$  - экспозиция нагрева, с.

На рисунке 4 приведена зависимость изменения температуры нагрева массы семян  $t^0\text{C}$  от времени их увлажнения  $t_w$  и экспозиции обработки  $\tau$  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 головни, несмотря на то, что среднеинтегральная температура массы семян лежит в пределах  $t = 15\ldots58^{\circ}\text{C}$ , при экспозиции  $\tau = 15\ldots25$  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.

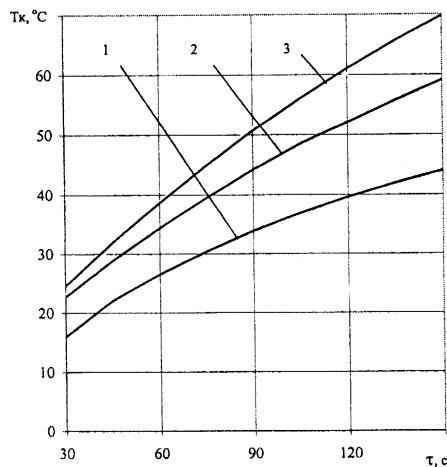


Рис. 1. Теоретические зависимости температуры Tk от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим стимуляции):  
1 – при частоте ЭМПВЧ 19 МГц;  
2 – при частоте ЭМПВЧ 23 МГц;  
3 – при частоте ЭМПВЧ 27 МГц

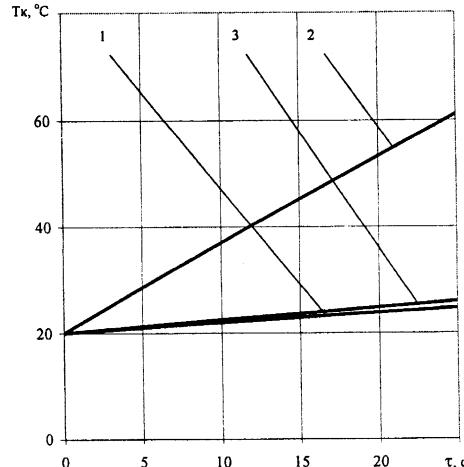


Рис. 2. Теоретические зависимости температуры Tk: сухой составляющей семян пшеницы (1), поверхностной влаги (2) и интегральной температуры нагрева семян (3) от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим обеззараживания)

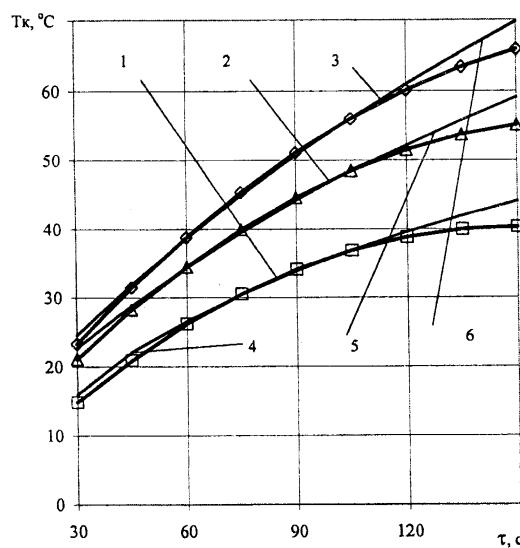


Рис. 3. Экспериментальные (1-3) и теоретические (4-6) зависимости температуры Tk от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим стимуляции):  
1, 4 – при частоте ЭМПВЧ 19 МГц;  
2, 5 – при частоте ЭМПВЧ 23 МГц;  
3, 6 – при частоте ЭМПВЧ 27 МГц

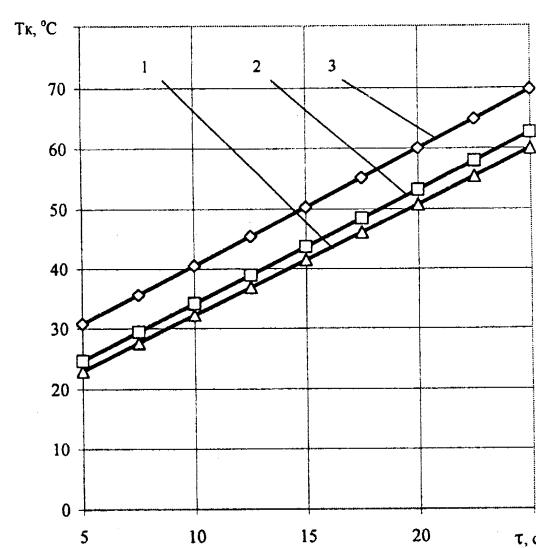


Рис. 4. Экспериментальные зависимости температуры Tk от времени обработки в ЭМПВЧ τ (режим обеззараживания):  
1 – при времени увлажнения 16 мин;  
2 – при времени увлажнения 23,5 мин;  
3 – при времени увлажнения 31 мин

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. А.с. № 563938 СССР. Способ обработки семян сельскохозяйственных культур / Г.И. Цугленок, Н.В. Цугленок. Опубл. 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.