



*Сушка зерна,
классическая сушка,
низкотемпературная
сушка,
импульсная сушка,
высокотемпературная
сушка, относительное
ускорение сушки*

*Grain drying, classical
drying, low-temperature
drying, pulsing drying,
high-temperature drying,
relative acceleration
of drying*

УСКОРЕНИЕ СУШКИ ЗЕРНА

Г. А. Бибик

к.т.н., доцент кафедры электрификации
ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА»

Из всех операций послеуборочной обработки зерна сушка – самый сложный и трудоемкий процесс. Тем не менее, сушка является основным способом консервации зерна. Обусловлено это особенностями его хранения. Так, при температуре $T=15^{\circ}\text{C}$ и влажности $W=14\%$ семенное зерно можно хранить долго; при $W=18\%$ – 10 дней; при $W=20\%$ – 5 дней; при $W=22\%$ – 2 дня, а при $W=24\%$ и более хранить семена без немедленной обработки нельзя совсем [1,2].

Средняя влажность зерна в период уборки может колебаться в широких пределах – от 13 до 35%. При самых неблагоприятных условиях влажность достигает: у зерна основной культуры – 27...30%; у сорняков, составляющих 5...20% массы зернового вороха, до 50%; Такой ворох нуждается в незамедлительной обработке.

Время уборки зерновых культур ограничено сроком 8–12 дней. За время суток поступление вороха от комбайнов на обработку занимает – от 6 до 12 часов. Поэтому нужно максимально уменьшить время сушки, не выходя за пределы максимально допустимой её температуры. Выполнить это можно при сушке на максимально допустимой температуре.

Зависимость максимально допустимой температуры от влажности и длительности сушки $T(W, \tau)$ известна в табличной форме и в аналитическом выражении [2,3], но все они сложны для анализа и схемной реализации.

Нами было найдено, что двухмерная функция $T(W, \tau)$ разлагается на две независимые функции: $T_w = f(W)$ и $\Delta T \tau = \varphi(\tau)$, каждая из которых зависит только от одного аргумента (W или τ), то есть:

$$T(W, \tau) = T_w + \Delta T \tau. \quad (1)$$

Для упрощения анализа и построения схем управления рассмотрим эти формулы отдельно. В качестве T_w предлагается использовать формулы:

- в диапазоне влажности $W=(5...30\%)$ $T_{w1} = (58,03 - 0,652)W$; (2)
- в диапазоне влажности $W=(35...45\%)$ $T_{w2} = (52,53 - 0,45)W$.

Зависимость от τ будем рассматривать в виде:

$$\Delta T \tau = 22,95 - 4,33 \ln \tau \quad (3)$$

При использовании этих формул следует учесть, что возможны разные виды сушки:

- классическая сушка;
- низкотемпературная сушка;
- импульсная сушка;
- высокотемпературная сушка.

Классическая сушка

При классической сушке её температура не меняется во времени. Это очень длительная сушка, так как выбранная температура не должна превосходить предельно допустимую температуру во всем диапазоне влажности сушимого зерна. Она ориентируется на предельно допустимую температуру начальной влажности зерна. Обычно такая сушка длится 9 и более часов (съём 5% влажности длится более 180 минут).

Низкотемпературная сушка

При низкотемпературной сушке возможность увеличения температуры зерна определяется за счет уменьшения влажности зерна в процессе сушки, то есть зависимостью $T_w = f(W)$, не учитывая скорости сушки ($\Delta T \tau = \varphi(\tau)$).

Определим возможное ускорение процесса сушки на предельно допустимой температуре.

Для фиксированного интервала влажности ($D_w, \%$), при постоянной температуре сушки ($T_0, ^\circ\text{C}$) выполняется соотношение:

$$D_w = U \cdot T_0 \cdot t_B, \tag{4}$$

где $U, \%$ – удельное уменьшение диапазона влажности на 1°C в течение одного часа; $t_B, \text{час}$ – время сушки интервала $D_w, \%$.

Текущая влажность при сушке определяется по формуле:

$$W = W_0 - U \cdot T \cdot t, \tag{5}$$

где $W_0, \%$ – исходная влажность.

Соотношение между влажностью и предельной температурой (2) в рассматриваемом случае имеет вид:

$$T = a - b \cdot W = a - b (W_0 - U \cdot T \cdot t). \tag{6}$$

Учитывая, что $T_0, ^\circ\text{C} = a - b \cdot W_0$, получим:

$$T = \frac{T_0}{1 - bUt}. \tag{7}$$

Поскольку диапазон сушки один и тот же, как при постоянной, так и при переменной (произвольной) температуре, то выполняется условие:

$$D_w = U \cdot T_0 \cdot t_B = U \cdot T \cdot t. \tag{8}$$

Из этого условия после подстановки значения T из (7) получим:

$$\frac{t}{t_B} = \frac{T_0}{T} = 1 - b \cdot U \cdot t. \tag{9}$$

Учитывая соотношение (4), это выражение преобразуется в формулу:

$$\frac{t}{t_B} = \frac{T_0}{T_0 + bD_w}. \tag{10}$$

Из этого соотношения, учитывая, что $t = t_B - \Delta t$, определяется относительное сокращение времени сушки:

$$\delta = \frac{\Delta t}{t_B} = \frac{bD_w}{T_0 + bD_w} = \frac{1}{1 + \frac{T_0}{bD_w}}. \tag{11}$$

По последнему соотношению рассчитано (табл. 1) относительное сокращение времени ($\delta = \frac{\Delta t}{t_B}$) сушки в диапазонах влажности от 45,40,35 до 15,10,5%. При этом, согласно формуле (2), при влажности меньше 30% $b = 0,652$, а при влажности больше 30% $b = 0,45$.

Импульсная сушка

Импульсная сушка – чередование подачи горячего и холодного агента сушки. Технически реализуется при одновременной сушке в несколь-

Таблица 1 – Относительное ускорение низкотемпературной сушки

$D_w=45...5\%$				$D_w=45...10\%$				$D_w=45...15\%$			
$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$	$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$	$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$
45...5	24	5,96	24,84	45...10	21	4,55	21,67	45...15	18	3,35	18,63
40...5	21	5,10	24,28	40...10	18	3,69	20,49	45...15	15	2,49	16,60
35...5	18	4,58	25,43	35...10	15	3,17	21,12	35...15	12	1,97	16,42
30...5	15	4,41	29,37	30...10	12	3,00	24,96	30...15	9	1,80	19,97
25...5	12	2,86	23,87	25...10	9	1,71	19,03	25...15	6	0,81	13,55
20...5	9	1,62	18,05	20...10	6	0,77	12,80	20...15	3	0,21	6,84
15...5	6	0,72	12,05	15...10	3	0,19	6,41				
10...5	3	0,18	5,96								

Примечание: $t_B, \text{час}$ – время сушки данного диапазона влажности классическим методом; $\Delta t, \text{час}$ – абсолютное время ускорения сушки, в часах.

ких камерах – периодическом переключении агента сушки по камерам. Зависимость времени сушки от температуры определяется из соотношения (9):

$$\frac{t}{t_B} = \frac{T_0}{T}, \quad (12)$$

где $T = T_0 + \Delta T\tau$ (текущая температура сушки).

Из этого соотношения ($t = t_B - \Delta t$) определяется относительное ускорение сушки:

$$\delta = \frac{\Delta t}{t_B} = \frac{\Delta T\tau}{T}. \quad (13)$$

Результаты расчетов по этой формуле представлены в таблице 2.

Высокотемпературная сушка

Высокотемпературная сушка – сушка при предельно допустимой температуре, которая увеличивается при уменьшении влажности и длительности сушки. Используются обе зависимости: $T_w = f(W)$ и $\Delta T\tau = \varphi(\tau)$. Расчет уменьшения

времени сушки выполняется аналогично расчету при низкотемпературной сушке, а именно, выполняются соотношения (4, 5, 6), причем $a - b \cdot W_0 = T_0 + \Delta T\tau = T_1$, поэтому формула (7) примет вид:

$$T = \frac{T_1}{1 - bUt}. \quad (14)$$

Учитывая это соотношение и соотношение (12) получим:

$$\frac{t}{t_B} = \frac{T_0}{T} = \frac{T_0}{T_1} (1 - b \cdot U \cdot t). \quad (15)$$

После подстановки U из соотношения (4) получим:

$$\frac{t}{t_B} = \frac{T_0}{T_1 + bD_w}. \quad (16)$$

При $t = t_B - \Delta t$, из этой формулы следует требуемое соотношение:

$$\frac{\Delta t}{t_B} = 1 - \frac{T_0}{T_1 + bD_w}. \quad (17)$$

Результаты расчетов по этой формуле представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Относительное ускорение импульсной сушки

W, %	10	15	20	25	30	35	40	45
$\tau_{\text{мин}}$	$\frac{\Delta t}{t_B}, \%$							
5	23,7389	25,1572	26,4901	27,7777	28,9855	30,3030	31,6832	33,2640
10	20,1863	21,4521	22,6481	23,8095	24,9042	26,1569	27,1399	28,4464
15	17,8914	19,0476	20,1439	21,2121	22,2222	23,3333	24,5077	25,7471
30	13,5906	14,5161	15,3992	16,2651	17,0886	18,0000	18,5355	19,6602
60	9,1873	9,8485	10,4839	11,1111	11,7117	12,3810	13,0982	13,8667
90	6,3752	6,8493	7,3069	7,7605	8,1967	8,6849	9,2105	9,7765

Таблица 3 – Относительное ускорение сушки при длительности $\tau = 5$ минут

$D_w = 45 \dots 5\%$				$D_w = 45 \dots 10\%$				$D_w = 45 \dots 15\%$			
$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$	$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$	$D_w, \%$	$t_B, \text{ч}$	$\Delta t, \text{ч}$	$\delta, \%$
45...5	24	10,5	43,65	45...10	21	8,81	41,94	45...15	18	7,27	40,39
40...5	21	9,01	42,92	40...10	18	7,34	40,79	45...15	15	5,81	38,71
35...5	18	7,77	43,17	35...10	15	6,10	40,67	35...15	12	4,57	38,04
30...5	15	6,78	45,17	30...10	12	5,11	42,56	30...15	9	3,57	39,67
25...5	12	4,93	41,11	25...10	9	3,44	38,26	25...15	6	2,11	35,12
20...5	9	3,31	36,73	20...10	6	2,02	33,65	20...15	3	0,91	30,25
15...5	6	1,93	32,12	15...10	3	0,86	28,81				
10...5	3	0,82	27,26								

Вывод

Таблицы 1, 2, 3 показывают, что все рассмотренные в них виды сушек выполняются быстрее, чем классическая. Относительное ускорение ($\delta, \%$) зависит от диапазона и метода сушки и ме-

няется от 5,96% при низкотемпературной сушке до 43,65% при высокотемпературной сушке. Наиболее быстрым видом сушки является высокотемпературная. Но рассмотренные виды сушки требуют дополнительной аппаратуры.

Литература

1. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка семян в Нечерноземной зоне [Текст]: монография / И.В. Захарченко. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 263 с.
2. Атаназевич, В.И. Сушка зерна [Текст]: монография / В.И. Атаназевич. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.
3. Птицын, С. Д. Зерносушилки, технологические основы, тепловой расчет и конструкции [Текст]: монография / С.Д. Птицын. – М.: Машиностроение, 1966. – 211 с.



ОБЪЯВЛЕНИЕ



**В издательстве ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА»
в 2012 г. вышла монография**

**«Предупреждение аварий и катастроф
на катодозащищённых подземных трубопроводах
бесконтактными методами идентификации
коррозионного разрушения» /
Л.А. Голдобина, В.С. Шкрабак, П.С. Орлов.**

В монографии рассмотрены проблемы безопасной эксплуатации подземного трубопроводного транспорта. Авторами предложена физическая модель проникновения атомарного водорода в металл. На основе анализа условий эксплуатации подземных газопроводов и влияния режима работы тиристорных катодных станций на подземный трубопровод с пленочной гидроизоляция разработаны способы идентификации коррозионных повреждений наружных поверхностей подземных и подводных трубопроводов, подтвержденные патентами РФ.

Разработанная методика бесконтактной идентификации коррозионных и стресс – коррозионных повреждений особенно актуальна для стальных подземных трубопроводов коммунального хозяйства и предприятий агропромышленного комплекса, трубопроводы которых с малорадиусными поворотами, как правило, не имеют равнопроходной с трубами арматуры, что наряду с большой номенклатурой диаметров и отсутствием шлюзовых камер исключает возможность применения для исследований состояния трубопроводов внутритрубных снарядов.

УДК 699.15:539.56; 669.788; ISBN 978-5-98914-107-4; 204 с. (МЯГКИЙ ПЕРЕПЛЕТ)

**ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58. ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА»**

E-mail: vlv@yarcx.ru

