

Влагометрическая подсистема зерна в потоке (результаты опытной эксплуатации)

Просьянык А. В., к.т.н., директор, Клабуков В. Ф., гл. конструктор ГНПП «Эльдорадо»,
Соснин К. В., аспирант НГУ, Днепропетровск.

Обработка данных процесса сушки зерна урожая 2002 года на зерносушилке ДСП-32, оборудованной влагометрической подсистемой и прибором ПКТП подтвердила ожидаемые результаты. Значимость и актуальность этих результатов обусловлены их новизной и отсутствием аналогичного опыта на практике, какой-либо информацией в печати. Подход авторов к комплексной автоматизации процесса сушки зерна на отечественных зерносушилках детально описан [1] и в данной статье не рассматривается.

Целью настоящей работы является оценка технологического процесса сушки зерна на шахтной зерносушилке, оборудованной согласно схемы автоматизации [1], как с позиции разработчика – точности измерений влагометрической подсистемы, серийной пригодности изделий, так и пользователя – экономического эффекта.

Испытания влагометрической подсистемы проводились на шахтной зерносушилке ДСП-32 Ореховского комбината хлебопродуктов. Датчик влажности влагометрической подсистемы зерна (ВПЗ) устанавливался в зоне охлаждения зерносушилки. Пробы зерна для измерения влажности в лабораторных условиях образцовым методом (Лаб) брались на выходе шахт зерносушилки. За образцовый метод принят метод определения влажности в соответствии с ГОСТ 13586.5-93. Результаты измерения влажности сведены в [таблицу 1](#) и представлены на [рисунке 1](#), где t – время, $W_{ВПЗ}$ – показания влажности зерна, полученные влагометрической подсистемой, $W_{Лаб}$ – показания влажности зерна, полученные в лабораторных условиях.

$$\Delta W = W_{ВПЗ} - W_{Лаб} \quad (1)$$

Таблица 1

Результаты измерения влажности во времени

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Т, мин	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$W_{ВПЗ}$, %	7.7	7.8	7.9	7.4	7.0	8.0	9.0	8.7	8.8	8.5	7.6	7.0	6.7	6.7	7.4	8.3	8.6	8.5	8.3	8.0	7.7
$W_{Лаб}$, %	8	7.9	7.7	7.2	6.7	7.6	9.4	9.0	9.0	8.8	8.3	7.0	6.8	6.8	8.0	8.7	8.8	8.9	8.6	8.3	8.0
ΔW , %	-0.3	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.7	0.0	0.0	-0.1	-0.6	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3
№ п/п	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Т, мин	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410
$W_{ВПЗ}$, %	7.8	7.8	7.5	7.7	7.8	7.9	7.4	7.0	7.9	8.2	8.4	8.1	7.8	7.0	6.7	7.1	8.3	8.6	8.5	8.7	8.0
$W_{Лаб}$, %	7.9	7.9	7.8	8.1	7.7	8.2	7.6	7.4	8.2	8.4	8.6	8.3	7.5	7.2	6.9	7.7	8.7	8.2	8.2	8.3	8.2
ΔW , %	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	0.1	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.4	0.4	0.3	0.4	-0.2

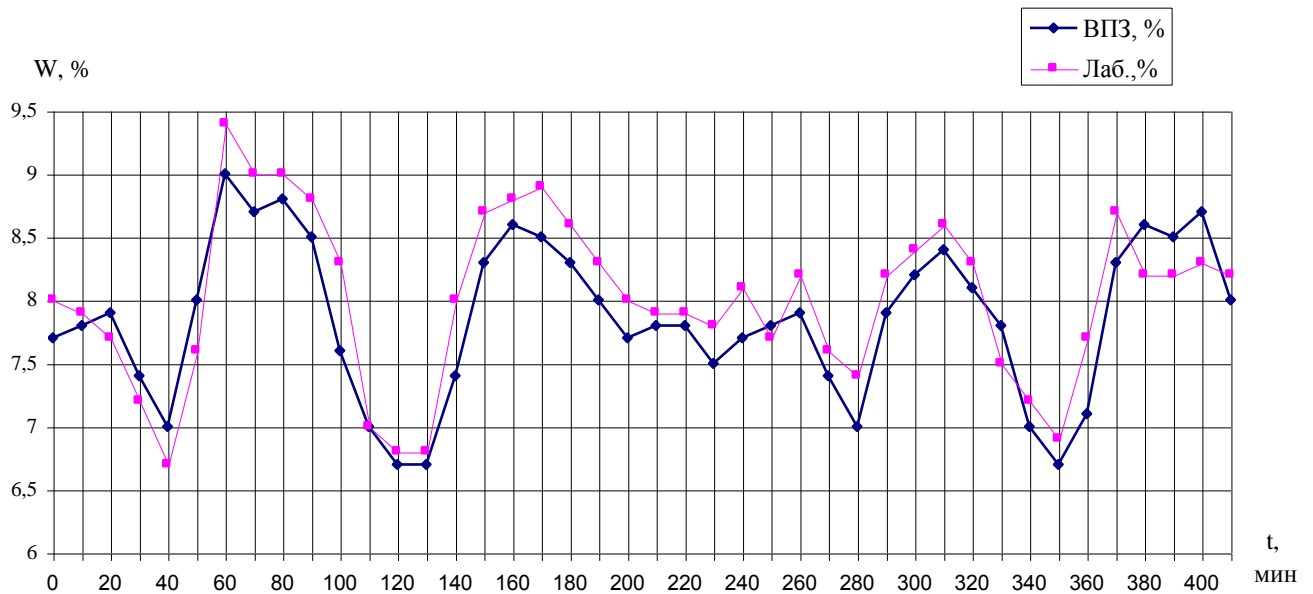


Рис. 1. Результаты измерения влажности во времени

Для выборки ΔW гипотеза о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, проверяется при помощи двух составных критериев [2].

Критерий 1. Вычисляют отношение

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}| / (nS^*), \quad (2)$$

где S^* - смещенная оценка среднего квадратического отклонения -

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}, \quad (3)$$

\tilde{A} - среднее арифметическое результатов наблюдений -

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4)$$

n - количество наблюдений.

Результаты наблюдений можно считать распределенными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \tilde{d} < d_{q_1/2} \quad (5)$$

где $d_{1-q_1/2}, d_{q_1/2}$ - квантили распределения; q_1 - заранее выбранный уровень значимости критерия.

Вычисляем d по формуле (2): $d = 0,7798$. Выбрав уровень значимости $q_1 = 0,05$ при $n = 46$, находим $d_{0,05} = 0,8508$; $d_{0,95} = 0,7496$. Так как $0,7496 < 0,7798 < 0,8508$, то критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Можно считать, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, если не более 2 разностей $|x_i - \tilde{A}|$ превысили значение $z_{P/2}S$, где $z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности $P/2$; S - оценка среднего квадратического отклонения результата наблюдения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{(n-1)}}. \quad (6)$$

Принимаем уровень значимости $q_2=0.02$. Для $n=42$ и $q_2=0.02$ находим $P=0,99$ и $z_{P/2}=2,6$. Отсюда, $z_{P/2}S=2,6*0,2777=0,722$. Разность $|x_i - \tilde{A}|$ не превышает не одно значение, из данных таблицы 1. Следовательно, критерий 2 выполняется.

Таким образом, гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений.

Для определения вероятности отклонения показаний влагометрической подсистемы не превышающих ± 0.5 (%) от среднего арифметического (\tilde{A}), определим вероятность заданного отклонения нормально распределенной случайной величины по абсолютной величине в соответствии с формулой

$$P(|X| < 0.5) = 2\Phi(0.5 / \sigma), \quad (7)$$

где $P(X)$ – вероятность, $\Phi(X)$ – функция Лапласа, σ – среднеквадратическое отклонение нормального распределения

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (8)$$

Вероятность отклонения (7), $P(|X| < 0.5) = 0,94$.

Все параметры технологического процесса сушки зерна такие как температура агента сушки, температура нагрева зерна, влажность зерна, период срабатывания затворов с периодичностью 1 секунда передаются по линии связи на персональный компьютер в лаборатории и сохраняются в протоколе технологического процесса. Это позволяет работникам лаборатории делать выводы о соблюдении технологии сушки зерна оператором зерносушилки. Применение влагометрической подсистемы при сушке различных культур на шахтной зерносушилке Ореховского КХП позволило оператору оперативно управлять температурой агента сушки, что видно из рис.2.

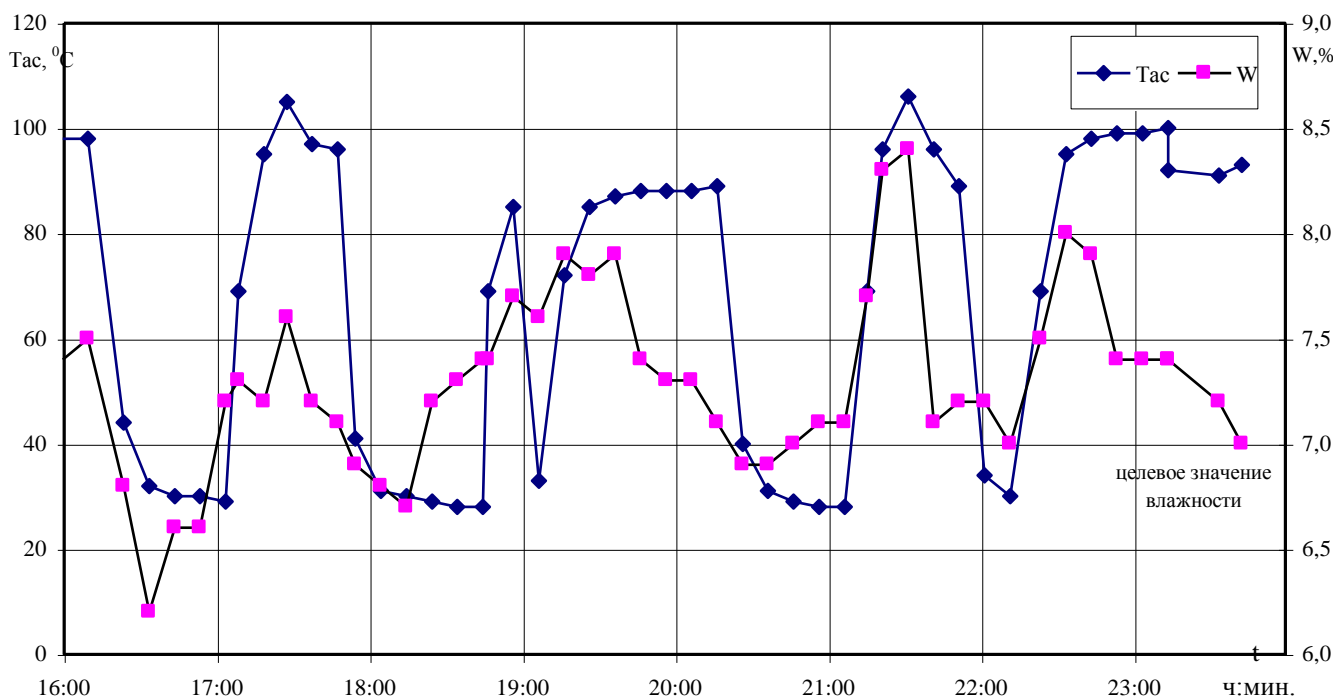


Рис. 2. График процесса сушки подсолнечника на зерносушилке ДСП-32.

Экономический эффект (Эсум) от использования влагометрической подсистемы для зерносушилок и прибора ПКТП определяется двумя составляющими:

$$\text{Эсум} = \text{Эп} + \text{Эо}, \quad (9)$$

где Эп – прямой экономический эффект, полученный в результате экономии расхода топлива, Эо – опосредованный экономический эффект, обусловленный получением продукта сушки заданного качества.

Отметим, что составляющая Эо , в ряде случаев, значительно превышает Эп . В 2002 году, в сравнении с 2001 годом, когда зерносушилка не была оборудована приборами, экономия топлива составила не менее 30%.

Из [рисунка 2](#) видно, что зависимость

$$W = f(t), \quad (10)$$

где t – время, W – влажность зерна сдвинута во времени по отношению к зависимости

$$T_{ac} = f(t), \quad (11)$$

где T_{ac} – температура агента сушки, что обусловлено более высокой инерционностью зависимости (10). Снижение температуры агента сушки по средствам прикрытия форсунки горелки (линейные участки графика $T = -k(t) + T_{ac}$ в интервале значений $T_{ac} = 100 \pm 5$ °C до 40 ± 10 °C) при $T_{ac} \leq 90$ °C приводит к дискретному режиму работы топки. Дискретный режим не является предпочтительным, а является следствием конкретных условий проведения процесса. При непрерывном режиме колебательный характер зависимости (11) сохранится, однако при этом можно достигнуть минимальной амплитуды разброса T_{ac} при максимально возможном периоде, что обусловит дополнительный прямой экономический эффект.

Автоматизированная система контроля и управления процессом сушки зерна, оборудованная согласно [1], обеспечивает, с одной стороны, прямую экономию топлива, с другой стороны, своевременность принятия мер по поддержанию режима сушки в заданном температурном интервале, при этом влажность зерна поддерживается близко к целевому значению (7%), что хорошо иллюстрируется графиком на [рисунке 2](#). Именно этот фактор обеспечивает Эо процесса сушки с заданными характеристиками качества зерна на выходе – основную составляющую экономического эффекта. Расчет определения Эо по методике Заказчика (в этой статье не приводится) показал, что окупаемость влагометрической подсистемы достигается при сушке не более 5 тыс. тонн зерна. При трехсменной загрузке зерносушилки ДСП-32 это составляет не более 7 суток.

Испытания опытного образца влагометрической подсистемы показали, что вероятность абсолютной погрешности (не превышающей ± 0.5 (%)) составляет 0.94.

Точность показаний влагометрической подсистемы позволяет создать систему контроля и управления технологическим процессом сушки зерна работающую в ручном, автоматизированном, автоматическом режимах.

В 2002 году, в сравнении с 2001 годом когда зерносушилка не была оборудована прибором ПКТП и влагометрической подсистемой, экономия топлива составила не менее 30%.

Положительные результаты эксплуатации опытного образца влагометрической подсистемы в 2002 году позволили перейти к мелкосерийному производству в 2003 году с установкой десяти подсистем на ряде предприятий Украины.

Литература

1. Просянык А. В., Клабуков В.Ф., Соснин К.В. Влагомер зерна в потоке – мал золотник, да дорог// Хранение и переработка зерна, №8, 2002 г.
2. Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высш. шк., 1989.-384 с.ил.