

АЛГОРИТМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПОТОКЕ ПРИ ЕГО СУШКЕ

Хобин В.А., д-р техн. наук, профессор, Гапонюк И.О., магистр
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Обосновываются особенности непрерывных измерений влажности зерна для целей автоматического управления процессом его сушки. С учетом этих особенностей, для автоматизированной системы таких измерений, разрабатываются алгоритмы, стабилизирующие их точность.

Features of continuous measurements of a grain humidity for the purposes of automatic control process of its drying are substantiated. Taking into account these features, for the automated system of such measurements, the algorithms stabilizing their accuracy, are developed.

Ключевые слова: зерно, влажность, измерения, автоматические влагомеры, точность, алгоритм, стабилизация.

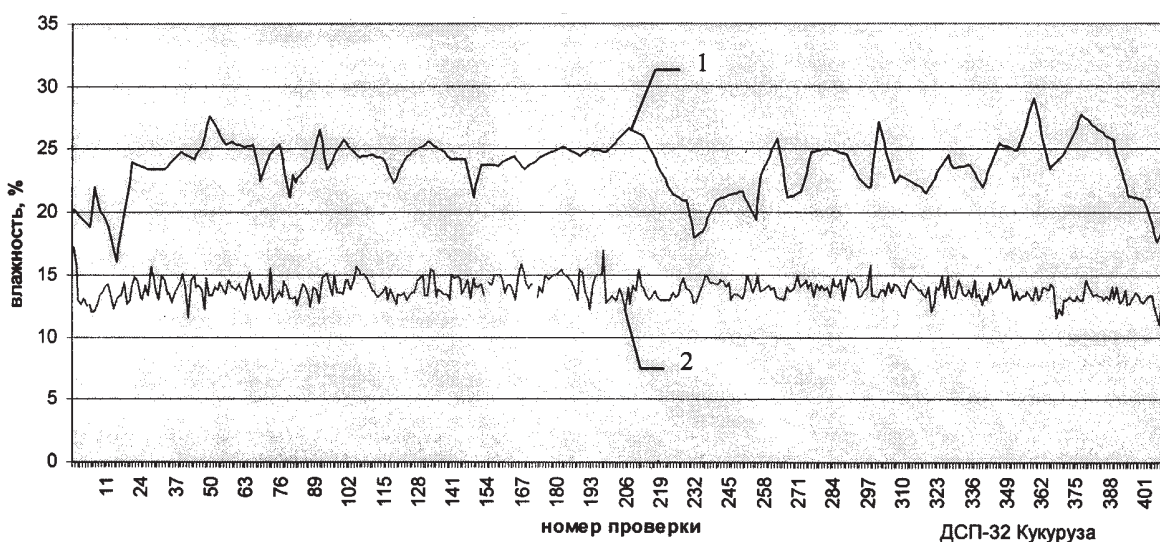
Введение. Создание высокоэффективных систем автоматического управления процессами сушки зерна [1 – 3] требует непрерывного автоматического измерения влажности зерна в потоке. Главным требованием к таким, как и любым другим, измерениям является обеспечение необходимой точности метрологических характеристик канала измерения и их стабильности. При этом, в условиях изменений в широких диапазонах свойств зерна, требуемая точность должна приближаться к точности стандартизованных лабораторных методов измерений [4, 5]. Суть проблемы автоматических измерений – невозможность создания для таких условий, метрологической меры влажности зерна для автоматических влагомеров, что одновременно означает невозможность их метрологической аттестации [6].

Для метрологически обоснованных автоматических измерений влажности зерна в потоке и стабилизации метрологических характеристик канала измерения в статье [7] нами была предложена структура автоматизированной системы измерений. В такой системе, наряду с каналом автоматических непрерывных измерений, реализуемого на основе выпускаемых, но неаттестованных влагомеров зерна в потоке [6], сохраняется канал периодических лабораторных измерений, точность которых обеспечена стандартизированной методикой измерения. Это позволяет реализовать в системе специальную регулируемую отрицательную обратную связь. Функционирование контура этой обратной связи может позволить решить задачу стабилизации точности автоматических измерений влажности на уровне приближающемся к точности лабораторных измерений, причем в условиях изменений в широких диапазонах свойств зерна и значительного дрейфа характеристик компонентов автоматического влагомера [7].

Настоящая статья является логическим продолжением [7]. В ней подробно рассматриваются технология разработки и алгоритмы функционирования контура обратной связи автоматизированной системы для таких особенностей изменения влажности зерна, которые характерны для его потоков на входе и выходе зерносушилок.

Особенности условий измерения влажности при сушке зерна и их отражение в модели измерительного устройства. Именно эти особенности в существенной степени определяют специфику решения задачи идентификации текущих значений параметров ρ_{a_w} модели $\Phi_w(\dots)$ объекта измерения (здесь и далее обозначения соответствуют принятым в [7]). На рис. 1 представлен пример графиков, отражающих изменения влажности зерна на входе в зерносушилку и выходе из нее. Исходными данными для графиков стали записи журналов регистрации лабораторных анализов при сушке зерна, форма Ф-71, любезно предоставленные нам руководством Новоукраинского комбината хлебопродуктов, в данном примере – сушка зерна кукурузы на зерносушилках ДСП-32. На графиках по оси абсцисс отложен порядковый номер проверки влажности, т.е. номер лабораторного анализа влажности зерна по отобраным пробам. Интервал отбора проб составлял 2 часа, а процедура определения влажности соответствовала ГОСТ 13586.5-85.

С учетом фактического характера изменения влажности зерна проведем анализ условий измерения этой влажности для задачи управления процессом сушки для случая, когда измерение влажности ведется в двух точках – на входе зерна в сушилку и выходе из нее. Обозначим переменные, соответствующие измеренным значениям влажности в этих точках, как «начальную» и «конечную» влажности, соответственно $W_{zn}^u(t)$ и $W_{зк}^u(t)$.



1 – влажность до сушения, %; 2 – влажность после сушения, %

Рис. 1 – Пример изменения влажности зерна на входе и выходе зерносушилки

1) Диапазоны измерения влажности зерна в указанных зонах сушилок (т.е. $W_{3н}^u$ и $W_{3к}^u$) будут существенно меньше диапазонов измерения ИУ. Это позволяет с учетом фактических свойств каналов измерения влажности, см. в частности, рис. 1, принять модели этих каналов $\Phi_w^M(\dots)$ для более узких диапазонов измерения линейными по аргументу W_3 .

2) Измеренное значение влажности зерна на выходе зерносушилки ($W_{3к}^u$) используется непосредственно в контуре стабилизации этой влажности на заданном значении как регулируемая переменная. При этом диапазон изменения $W_{3к}^u$ будет представлять собой достаточно малую окрестность заданного значения этой влажности, которая при ее «ручном» регулировании обычно не превышает $\pm(1,5 \dots 2)\%$, а при хорошем автоматическом – практически вырождается в точку. Это приводит и к вырождению задачи идентификации. В таких условиях, когда нет статистически значимых изменений $W_{3к}^u$, невозможно идентифицировать параметры, которые являются коэффициентами при переменных $W_{3к}$. Это означает, что мультипликативные составляющие погрешности измерения в таких условиях выявить и компенсировать невозможно. Но, главное, что идентификация таких коэффициентов для $\Phi_w^M(\dots)$ не является абсолютно необходимой для повышения точности измерений и стабилизации $W_{3к}^u(t)$ на уровне заданного значения $W_{3к}^{30}$. Дело в том, что мультипликативные составляющие погрешности будут изменять только коэффициент передачи зерносушилки как объекта управления по соответствующему каналу регулирования. Это окажет влияние только на характер собственного движения контура и величину динамических ошибок регулирования. Но поскольку указанные изменения коэффициента передачи будут незначительными по сравнению с его изменениями, вызванными другими факторами, то ими можно пренебречь. Идентификация коэффициентов мультипликативных составляющих модели возможна и целесообразна при запуске сушилки в работу, когда влагомер на ее выходе будет работать практически во всем диапазоне текущих значений влажности зерна $\Delta W_3 \in (W_{3н}, W_{3к})$.

3) Изменение значения влажности зерна на входе в зерносушилку может рассматриваться как контролируемое возмущение. Его измерение ($W_{3н}^u$) может позволить придать системе автоматического управления свойство инвариантности регулируемой переменной $W_{3к}^u$ относительно $W_{3н}^u$, что существенно снизит динамические ошибки регулирования $\Delta W_3^{pec}(t) = W_3^{30} - W_{3к}^u(t)$. Реализация свойства инвариантности ведется на основе принципа Б.Н. Петрова (двухканальности). При этом известно, что для каналов этого возмущения и регулирования со статическими свойствами (которыми и обладают соответствующие каналы сушилки, как объекта управления), свойства канала ввода возмущения, если его выходная переменная суммируется на входе регулятора $W_{3к}^u$, будут дифференцирующими. Отсюда следует, что информативной переменной для управления будет являться не абсолютное значение $W_{3н}^u(t)$, а значе-

ние скорости ее изменения $dW_{3n}^u(t)/dt$. В этом случае, т.е. для целей управления, необходимо, прежде всего, вести идентификацию тех коэффициентов модели, которые определяют вес ее составляющих с W_3 , т.е. мультипликативных составляющих. Проблемы точности идентификации таких коэффициентов аналогичны описанным в предыдущем пункте – они требуют заметных и достаточно быстрых изменений W_{3n} , что зависит от партии зерна, подаваемой на сушку. При запуске сушилки в работу, для случая, когда значения W_{3n}^u и W_{3k}^u получают однотипными влагомерами, то значения этих коэффициентов для модели $\Phi_{W_{3n}}^M(\dots)$ могут быть приняты равными соответствующим коэффициентам, определенным для модели $\Phi_{W_{3k}}^M(\dots)$. Подчеркнем, что модель $\Phi_{W_{3n}}^M(\dots)$, определяющая коэффициенты градуировочной характеристики ИУ W_{3n}^u , не требует высокой точности, т.к. и точность задания динамических свойств каналов, определяющих значение корректирующей переменной на выходе канала ввода возмущений, также невелика.

4) Еще одним важным условием, упрощающим решение задачи (7) в [7], являются достижения разработчиков автоматических влагомеров, [6]. Они всегда стремились, и часто – достаточно успешно, компенсировать влияние температуры зерна на результаты измерения его влажности «аппаратным» путем. Например, в [8] предлагался двухчастотный дифференциальный метод измерения. Особенности решения таких задач на современном этапе остаются, как правило, предметом «ноу-хау». Вне зависимости от конкретного подхода к ее решению, применение автоматических влагомеров с температурной компенсацией, позволяет уменьшить количество аргументов в модели с двух (W_3, θ_3) до одного (W_3). Следует также отметить, что идеальная компенсация влияния температуры на W_3^u невозможна. Но для условий сушки зерна, и на входе и на выходе сушилки, диапазоны изменения его температур относительно невелики, что уменьшает величину указанных погрешностей. Кроме того, скорость изменения температуры зерна на выходе из сушилки при стабилизации температурных режимов сушки также невысока. Это позволяет отнести оставшуюся некомпенсированную составляющую температурной погрешности к неконтролируемым, которая будет скомпенсирована в совокупности с другими погрешностями при функционировании автоматизированной системы измерения.

Перечисленные выше четыре специфических условия, в которых производятся измерения влажности при сушке зерна, существенно облегчают задачу текущей идентификации параметров моделей $\Phi_{W_{3n}}^M(\dots)$ и $\Phi_{W_{3k}}^M(\dots)$. Но есть условие, которое решение этой задачи усложняет.

5) Эталонов влажности зерна не существует, их значения необходимо получать в ходе проведения лабораторных измерений одним из гостированных методов, т.е. в качестве эталонов используются значения W_{3n}^3 и W_{3k}^3 . Поэтому получение W_3^3 и результаты идентификации коэффициентов моделей будут отставать от текущего времени t на время τ^{lab} , которое равно интервалу времени между моментом $t = t_i$ отбора i -той пробы и моментом $t = t_i + \tau^{lab}$ ввода результатов лабораторных измерений влажности в компьютер. Следует подчеркнуть, что результат измерения $Z_w^u(t = t_i)$, для которого в момент времени $t = t_i$ берется i -тая проба зерна, в силу этого получает статус эталонного, т.е. $Z_w^u(t = t_i) \equiv Z_w^3(t_i)$. При этом $Z_w^u(t)$ является непрерывной функцией времени, а $Z_w^3(t_i)$ – решетчатой функцией, значение которой определено для $t = t_i, i = \overline{1, \infty}$.

С одной стороны, система уравнений (7) в [7] предполагает, что если переменные являются функциями времени Z_w^3 и W_3^{u3} , то их значения должны соответствовать одному и тому же моменту времени, т.е. они должны быть синхронизированы. В нашем случае эти моменты времени отличаются на τ^{lab} , т.е.: $Z_w^3(t_i) \rightarrow W_3^{u3}(t_i + \tau_i^{lab})$. Для их синхронизации значение $Z_w^3(t_i)$ необходимо сохранять в памяти компьютера и прочитать его для расчета \hat{a}_w^k в момент ввода значения $W_3^{u3}(t_i + \tau_i^{lab})$, когда фактически оно станет значением $Z_w^3(t_i + \tau_i^n)$, где $\tau_i^n \approx \tau_i^{lab}$.

С другой стороны, определение N коэффициентов модели требует решения системы N уравнений с N неизвестными, т.е. требуется N лабораторных измерений влажности зерна. Но, учитывая, что искомые коэффициенты изменяются во времени, а интервал времени между измерениями достаточно большой, то формально такая система уравнений составлена быть не может. Поэтому без принятия дополнительных допущений коэффициенты модели определены быть не могут.

С учетом изложенного, модели каналов измерения влажности на интервале времени $[t_i + \tau_i; t_{i+1} + \tau_{i+1}]$

для культуры b_3 могут быть представлены в виде линейных одномерных моделей с запаздывающими аргументами:

$$\begin{aligned} \Phi_{w_{3н}}^M(b_3) &\rightarrow Z_{w_{3н}}^{\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) = a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3) W_{3н}^{u\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^{лаб}) + a_{w_{3н}}^{0i}(b_3), \\ \Phi_{w_{3к}}^M(b_3) &\rightarrow Z_{w_{3к}}^{\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) = a_{w_{3к}}^{1(i-1)}(b_3) W_{3н}^{u\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^{лаб}) + a_{w_{3н}}^{0i}(b_3), \end{aligned} \quad (1)$$

где $[a_{w_{3н}}^{0i}(b_3), a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3)]^T \in \mathcal{D}_{w_{3н}}^{\kappa}(b_3)$, для $i = \overline{0, \infty}$,

$[a_{w_{3к}}^{0i}(b_3), a_{w_{3к}}^{1(i-1)}(b_3)]^T \in \mathcal{D}_{w_{3к}}^{\kappa}(b_3)$, для $i = \overline{0, \infty}$,

$a_{w_{3н}}^{0i}(b_3)a_{w_{3к}}^{0i}(b_3)$ и $a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3)a_{w_{3к}}^{1(i-1)}(b_3)$ – соответственно аддитивные составляющие и коэффициенты

при мультипликативных составляющих модели (3.1) для культуры b_3 ;

i – номер лабораторного анализа по определению влажности зерна, $i = \overline{1, \infty}$, $i = 0$ – соответствует ситуации до проведения анализов.

Размерности коэффициентов: $[a_{w_3}^{0i}] = \text{Вольт}$; $[a_{w_3}^{1(i-1)}] = \frac{\text{Вольт}}{\% \text{ влажности}}$.

Алгоритмы идентификации параметров модели объекта измерения (1). Формально, определение двух коэффициентов модели требует решения системы двух уравнений с двумя неизвестными, т.е. требуется два лабораторных измерения влажности зерна. Но, учитывая, что искомые коэффициенты изменяются во времени, а интервал времени между измерениями достаточно большой, то по-сути, такая система уравнений составлена быть не может. Так, при $i = 1$, т.е. после первого измерения влажности в лаборатории можно получить лишь одно уравнение. Это отражает и значение индекса $(i - 1)$ у коэффициентов мультипликативных составляющих моделей, которые сохраняются на уровне базовых $a_{w_3}^{1B}(b_3)$ или значений, полученных в последнем тестовом эксперименте $a_{w_3}^{1(i^{\max}-1)}(b_3)$. Для всей области изменения $i \in \overline{0, \infty}$ значение $(i - 1)$ определяется выражением:

$$i - 1 = \begin{cases} 0, & \text{при } i \in \overline{0, 1} \\ i - 1, & \text{при } i \in \overline{2, \infty} \end{cases}, \quad (2)$$

т.е. отрицательных значений индекс не имеет, они не имеют смысла. После второго измерения описанная выше ситуация повторяется, поскольку получаем новое уравнение с двумя неизвестными, которое не связано с предыдущим, и, следовательно, не может быть объединено с ним в систему. Поэтому для решаемой задачи целесообразно отказаться от аналитического подхода к решению систем уравнений, составленных на основе (1). Он потребовал бы формулирования пакета допущений, которые позволили бы составить и решить такую систему. Альтернативой аналитическому подходу является алгоритмический. Такой подход, по-сути, является рекуррентным и выполняется по мере поступления новой информации в реальном времени. Именно так и будет реализовываться реальная процедура. Рассмотрим ее.

А. Интервал времени от пуска сушилки и взятия первой пробы зерна для проведения лабораторного анализа влажности до получения его результатов: $i = 0, t \in [t_0, t_0 + \tau_1^{лаб}]$. Значения коэффициентов должны соответствовать значениям, определенным либо по базовым (паспортным) градуировочным характеристикам для культур b_3 , поставляемых с измерительным устройством его производителем: $a_{w_3}^{00}(b_3) \equiv a_{w_3}^{0B}(b_3)$, $a_{w_3}^{10}(b_3) \equiv a_{w_3}^{1B}(b_3)$, либо последним значениям, которые были рассчитаны при работе с конкретным ИУ, когда им измерялась влажность культуры b_3 (т.е. $i = i^{\max}$): $a_{w_3}^{00}(b_3) \equiv a_{w_3}^{0i^{\max}}(b_3)$, $a_{w_3}^{10}(b_3) \equiv a_{w_3}^{1(i^{\max}-1)}(b_3)$.

Формально:

$$\begin{aligned} a_{w_3}^{00}(b_3) &= \begin{cases} a_{w_3}^{0B}(b_3), & \text{при первом включении ИУ для измерения влажности культуры } b_3; \\ a_{w_3}^{0i^{\max}}(b_3), & \text{при начале сушки новой партии культуры } b_3; \end{cases} \\ a_{w_3}^{10}(b_3) &= \begin{cases} a_{w_3}^{1B}(b_3), & \text{при первом включении ИУ для измерения влажности культуры } b_3; \\ a_{w_3}^{1(i^{\max}-1)}(b_3), & \text{при начале сушки новой партии культуры } b_3; \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Отметим, что абсолютное значение номера лабораторного анализа принципиального значения не имеет. Его удобно принять соответствующим номеру записи в лабораторном журнале регистрации влажности зерна. Там, по установленной форме, этот номер будет соответствовать номеру пробы, который начинается с начала сушки новой партии зерна.

Б. Интервал времени от получения результатов по первой пробе зерна до получения результатов по второй пробе: $i = 1, t \in [t_1, t_1 + \tau_2^{лаб}]$.

$$\begin{cases} a_{w_3}^{01}(b_3) = Z_{w_3}^{\vartheta}(b_3, t_1 + \tau_1^n) - a_{w_3}^{10}(b_3)W_3^{\vartheta}(b_3, t_1 + \tau_1^{лаб}) \\ a_{w_3}^{10}(b_3), \quad \text{при начале сушки новой партии культуры } b_3; \end{cases} \quad (4)$$

Содержание алгоритмов по пунктам А и Б идентично для измерений и начальной и конечной влажности зерна. Поэтому индексы «к» и «н» в обозначениях переменных и коэффициентов отсутствует. Но уже со следующего пункта такого совпадения не будет. Различия обуславливаются сформулированными ранее особенностями условий измерения.

В. Интервал времени от получения результатов по второй пробе до получения результатов по третьей пробе: $i = 2, t \in [t_2, t_2 + \tau_3^{лаб}]$.

$$\begin{cases} a_{w_{3к}}^{02}(b_3) = Z_{w_{3к}}^{\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^n) - a_{w_{3к}}^{11}(b_3)W_{3к}^{\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^{лаб}) \\ a_{w_{3к}}^{11}(b_3) = \frac{Z_{w_{3к}}^{\vartheta}(b_3, t_1 + \tau_1^n) - Z_{w_{3к}}^{\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^n)}{W_{3к}^{u\vartheta}(b_3, t_1 + \tau_1^{лаб}) - W_{3к}^{u\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^{лаб})} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_{w_{3н}}^{02}(b_3) = Z_{w_{3н}}^{\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^n) - a_{w_{3н}}^{11}(b_3)W_{3н}^{u\vartheta}(b_3, t_2 + \tau_2^{лаб}) \\ a_{w_{3н}}^{11}(b_3) = a_{w_{3к}}^{11}(b_3) \end{cases}. \quad (6)$$

Подчеркнем, что достоверное вычисление коэффициентов $a_{w_3}^{1(i-1)}$ возможно только при значительных приращениях влажности в «соседних» измерениях, т.е. разности $W_3^{u\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^{лаб}) - W_3^{u\vartheta}(b_3, t_{i+1} + \tau_{i+1}^{лаб}) = \Delta W_3^{u\vartheta}(t_i - t_{i+1})$.

Величина $\Delta W_3^{\vartheta}(t_i - t_{i+1})$ должна в несколько (k) раз превышать максимально допустимое значение абсолютной погрешности измерения влажности лабораторным методом ΔW_3^{\max} . А это условие может быть выполнено только в режиме вывода сушилки из исходного состояния, когда она вся заполнена свежим зерном, в режим нормальной работы. Очевидно, что квазиоптимальным и по времени и по затратам энергии будет переход (переходный процесс), который завершается за один проход зерна через сушилку, скорость движения которого (производительность сушилки) должна быть определена на основе исходной информации.

Г. Интервал времени от получения результатов по третьей пробе до окончания сушки всей партии зерна: $i \geq 3, t \in [t_3, t_i + \tau_i^{лаб}]$, $i = \overline{3, \infty}$.

$$\begin{cases} a_{w_{3к}}^{0i}(b_3) = Z_{w_{3к}}^{\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) - a_{w_{3к}}^{11}(b_3)W_{3к}^{u\vartheta}(b_i, t_i + \tau_i^{лаб}) \\ a_{w_{3к}}^{1i}(b_3) = a_{w_{3к}}^{11}(b_3) \end{cases}. \quad (7)$$

$$\begin{cases} a_{w_{3н}}^{0i}(b_3) = Z_{w_{3н}}^{\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) - a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3)W_{3н}^{u\vartheta}(b_i, t_i + \tau_i^{лаб}) \\ a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3) = \begin{cases} a_{w_{3н}}^{1(i-1)}(b_3), \quad \text{при } W_{3н}^{u\vartheta}(t_i - t_{i+1}) < N\Delta W_3^{\max} \\ \frac{Z_{w_{3н}}^{\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) - Z_{w_{3н}}^{\vartheta}(b_3, t_{i+1} + \tau_{i+1}^n)}{W_{3н}^{u\vartheta}(b_3, t_i + \tau_i^n) - W_{3н}^{u\vartheta}(b_3, t_{i+1} + \tau_{i+1}^n)}, \quad \text{при } W_{3н}^{u\vartheta}(t_i - t_{i+1}) \geq k\Delta W_3^{\max} \end{cases} \end{cases}, \quad (8)$$

где i' – крайний из последовательности номеров лабораторных анализов влажности зерна, при котором разность с предыдущим измерением влажности превысила порог, необходимый для обеспечения точности вычислений текущего значения $a_{w_3}^1(b_3)$.

Адаптации модели измерительного устройства к изменениям электрофизических свойств зерна и первичного преобразователя его влажности. Важно, что идентификация параметров $\theta_{w_3}^{\kappa}$, процедура которой описана выше, проводится, в конечном итоге, не для адаптации модели (1) к конкретным

условиям измерений, а для адаптации к ним градуировочной характеристики ИУ. Это возможно поскольку, как уже отмечалось, модель Φ_w и градуировочная характеристика ϕ_w являются обратными функциями, в которых аргументы и функции «меняются местами», а параметры остаются неизменными. В терминах метрологии такая процедура адаптации может быть определена как периодическая калибровка градуировочных характеристик ИУ начальной и конечной влажности зерна.

$$\Phi_{w_{3н}} \rightarrow W_{3н}^u(t) = \left(1/a_{w_{3н}}^{1(i-1)}\right) \left(Z_{w_{3н}}(t) - a_{w_{3н}}^{0i}\right); \quad \Phi_{w_{3к}} \rightarrow W_{3к}^u(t) = \left(1/a_{w_{3к}}^{1(i-1)}\right) \left(Z_{w_{3к}}(t) - a_{w_{3к}}^{0i}\right). \quad (9)$$

На основе уравнений (9) ведется квазинепрерывный перерасчет сигналов с первичных преобразователей в значения влажности, которые и составляют информационную основу систем автоматического регулирования (стабилизации) влажности зерна на выходе из сушилки.

Получение базовых значений коэффициентов моделей по паспортным градуировочным характеристикам их производителей. Реализация этой процедуры, безусловно, предполагает, что градуировочные характеристики первичных преобразователей и/или градуировочные характеристики измерительных устройств, которые приводятся их изготовителями, могут быть, по крайней мере, на их необходимых участках, описаны линейными моделями (1) или (9). Поскольку модели линейные, то графическую интерпретацию таких характеристик можно рассматривать как прямые линии, проходящие через две точки с заданными координатами. Причем, в качестве таких точек наиболее целесообразно взять реперные точки [9], на основе которых и строились паспортные градуировочные характеристики. Идеальной ситуацией для нелинейных градуировочных характеристик была бы такая, когда реперные точки совпадали бы с предполагаемыми диапазонами измерения влажности в выбранных точках контроля. Для линейных характеристик расположение реперных точек принципиального значения не имеет. Обозначим координаты таких двух реперных точек как пары их значений $(W_{31}^p, Z_{w_{31}}^p)$ и $(W_{32}^p, Z_{w_{32}}^p)$.

Известно, например [10], что уравнение прямой, проходящей через две заданные несовпадающие точки, в нашем случае – реперные точки, будет иметь вид:

$$\begin{vmatrix} W_3^u(b_3) & Z_{w_3}(b_3) & 1 \\ W_{31}^p(b_3) & Z_{w_{31}}^p(b_3) & 1 \\ W_{32}^p(b_3) & Z_{w_{32}}^p(b_3) & 1 \end{vmatrix} = 0, \quad \text{или} \quad \frac{W_3^u(b_3) - W_{31}^p(b_3)}{W_{32}^p(b_3) - W_{31}^p(b_3)} = \frac{Z_{w_3}(b_3) - Z_{w_{31}}^p(b_3)}{Z_{w_{32}}^p(b_3) - Z_{w_{31}}^p(b_3)}.$$

После преобразований получим:

$$Z_{w_3}(b_3) = \frac{Z_{w_{31}}^p(b_3) - Z_{w_{32}}^p(b_3)}{W_{31}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3)} W_3^u(b_3) + \frac{W_{31}^p(b_3) Z_{w_{32}}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3) Z_{w_{31}}^p(b_3)}{W_{31}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3)}. \quad (10)$$

Таким образом:

$$a_{w_3}^{0B}(b_3) = \frac{Z_{w_{31}}^p(b_3) Z_{w_{32}}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3) Z_{w_{31}}^p(b_3)}{W_{31}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3)}; \quad a_{w_3}^{1B}(b_3) = \frac{Z_{w_{31}}^p(b_3) - Z_{w_{32}}^p(b_3)}{W_{31}^p(b_3) - W_{32}^p(b_3)}. \quad (11)$$

В качестве примера рассмотрим получение коэффициентов (3.11) для влагомера зерна в потоке «Поток» [11], производитель «Aquasensor», г. Харьков. Градуировочные характеристики первичного преобразователя влагомера «от производителя» в форме графиков представлены на рис. 2. В табл. 1 приведены координаты реперных точек этих градуировочных характеристик и рассчитанные по ним значения коэффициентов.

Заклучение.

1. Разработанная система и алгоритмы для гарантированного обеспечения необходимой точности измерений учитывают много конкретных особенностей процессов измерения влажности и применяемых автоматических влагомеров. Вместе с тем саму измеряемую переменную необходимо рассматривать как случайный процесс, предотвращая на всех этапах измерения транспонирование его высокочастотной составляющей спектра в низкочастотную область. Пренебрежение этим приведет к появлению в результатах измерения низкочастотной случайной составляющей методической погрешности, выявить и оценить величину которой будет практически невозможно. Характеристики этого случайного процесса должны быть изучены в виде специальных экспериментов на зерносушилках с реальными автоматическими влагомерами. Эти реальные характеристики определяют режимы измерений и параметры предимпульсных фильтров.

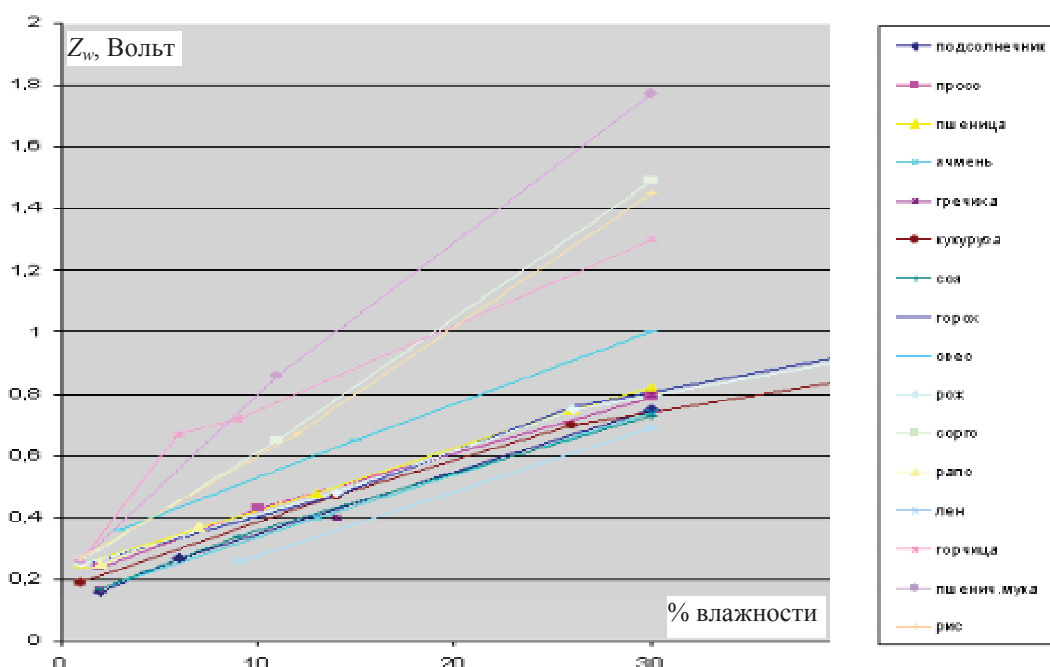


Рис. 2 – Градуировочные характеристики первичных преобразователей влагомеров «Поток»

Таблица 1 – Координаты реперных точек градуировочной характеристики (ГХ) первичных преобразователей влагомеров «Поток» и рассчитанных по ним значений коэффициентов их линейной модели

№№ п/п	Культура, b_3	Координаты реперных точек ГХ первичного преобразователя				Значения коэффициентов модели	
		W_{31}^p , % влажности	W_{32}^p , % влажности	$Z_{W_{31}}^p$, Вольт	$Z_{W_{32}}^p$, Вольт	$a_{W_3}^{0B}$, Вольт	$a_{W_3}^{1B}$, Вольт % влажности
1.	Пшеница	13	26	0,48	0,75	0,21	0,0208
2.	Рожь	14	26	0,48	0,75	0,17	0,0225
3.	Ячмень	13	30	0,40	0,74	0,14	0,0200
4.	Овес	15	30	0,65	1,00	0,30	0,0233
5.	Кукуруза	14	26	0,47	0,70	0,20	0,0192
6.	Гречиха	14	30	0,40	0,80	0,05	0,0250
7.	Рис	12	30	0,67	1,45	0,15	0,0433
8.	Подсолнечник	6	30	0,27	0,75	0,15	0,0200
9.	Соя	9	30	0,34	0,73	0,17	0,0186
10.	Горох	14	26	0,47	0,76	0,13	0,0242
11.	Рапс	7	30	0,37	0,92	0,20	0,0239
12.	Просо	10	30	0,43	0,79	0,25	0,0180
13.	Сорго	11	30	0,65	1,49	0,16	0,0442
14.	Лен	9	30	0,69	1,76	0,23	0,0510
15.	Горчица	9	30	0,72	1,30	0,47	0,0276

2. Рекомендаций по применению в разработанной автоматизированной системе тех или иных автоматических влагомеров, в частности тех, которые были рассмотрены, априори дать невозможно. Но, одно важнейшее метрологическое свойство, которое будет давать конкурентное преимущество для применения, очевидно – это минимальная случайная центрированная составляющая инструментальной погрешности измерения и минимальная скорость дрейфа ее детерминированной составляющей. Именно эти характеристики целесообразно было бы улучшать в новых разработках влагомеров и указывать их значения в технической документации.

3. Выполненная разработка ориентирована на применение ее в системах автоматического управления зерносушилками для обеспечения их достоверной информацией о влажности зерна на ее входе и вы-

ходе. А это может позволить существенно снизить удельные энергозатраты на сушку и повысить качество зерна после сушки, что обеспечит экономический эффект от разработки.

Література

1. Просянык А.В., Клабуков В.Ф., Соснин К.В. Влагомер зерна в потоке – мал золотник, да дорог // <http://www.dnvpeldorado.dp.ua>
2. Хобин В.А. Совершенствование систем автоматического управления режимами работы зерносушилок как основа повышения их эффективности // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2005. – № 4(70). – С. 41 – 44.
3. Хобин В.А., Степанов М.Т., Гапонюк И.О. Повышение энергетической эффективности процессов сушки зерна на базе систем гарантирующего управления // Мат. III Международ. науч.-практ. конф. «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ – 2008». – Москва – Тамбов: Мат. в 2-х т. – Т. 1. – С. 334 – 343.
4. ГОСТ 13586.5-85. Зерно. Метод определения влажности. – Взамен ГОСТ 3040-55 в части метода определения влажности; Введ. 14.11.85. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
5. ГОСТ 29143-91 (ИСО 712-85). Зерно и зернопродукты. Определение влажности (рабочий контрольный метод). – Введ. 05.12.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 5 с.
6. Хобин В.А., Гапонюк И.О. Измерение влажности зерна в потоке: актуальность, технические средства, проблемы точности, пути решения // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2009. – № 4(70). – С. 41 – 44.
7. Хобин В.А., Гапонюк И.О. Стабілізація метрологічних характеристик автоматичних вимірювань вологості зерна в потоці. Кібернетичний підхід Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2009. – Вип. 36. – Т. 1. – С. 289 – 297.
8. Пикерсгиль А.А. Исследование поточных датчиков влажности: Дис... канд. техн. наук: 05.13.07. – Одесса, 1965. – 202 с.
9. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99, Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск: изд-во стандартов. – Москва, 2003. – 50 с.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – 2-е изд., – М.: Изд-во «Наука», 1970. – 720 с.
11. Влагомер зерновых «Поток». <http://www.aquasensor.com.ua>

УДК 664.726

НАПРЯМКИ РОЗРОБКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ЗЕРНОПРИЙМАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Гросул Л.Г., д-р техн. наук, професор; Гапонюк О.І., д-р техн. наук, професор;
Станкевич Г.М., д-р техн. наук, професор; Мосієнко Г.А., інженер;
Яцкова Т.Й., канд. техн. наук; Гончарук Г.А., канд. техн. наук
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Стаття містить аналіз принципів та методичних підходів до проектних розробок універсального транспортно-технологічного обладнання для очищення свіжезібраного зерна перед сушінням та закладенням його на зберігання безпосередньо у фермерських господарствах – виробниках зернової сировини.

This article substantiates operational principles and considers methodical approaches to engineering of universal equipment for separation of harvesting byproducts, timely cleaning of freshly harvested grain, and storing them directly at grain-producing farms.

Ключові слова: ворох, зерно, домішки, аеродинамічно важкі та легкі частки, ситове та повітряне сепарування.

Вступ. Головними напрямками подальшого розвитку агропромислового комплексу України передбачається створення продовольчого фонду і накопичення сировинних ресурсів держави, необхідних для оперативного задоволення зростаючого попиту населення та всебічних потреб народного господарства.