

УДК 621.311.25

В. В. Богачук, к. т. н.;

В. В. Кухарчук, д. т. н., проф.;

Д. П. Проценко

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА TWIDO 20 DTK

Удосконалено метод безпосереднього контролю вологості та розроблено функціональну схему автоматизації технологічного процесу сушіння з використанням мікроконтролера Twido 20 DTK.

Вступ

Основною технологічною операцією виготовлення сухого молока є сушіння згущеного молока в сушильній камері. Основним інформативним параметром якості сухого молока є масова частка вологи в готовому продукті. Термогравіметричний спосіб вимірювання вологості, який застосовується на більшості молокозаводів України, вимагає великих затрат часу та робить неможливим оперативне керування технологічним процесом сушки [1].

На сьогодні для керування процесом сушіння використовується опосередкований параметр: значення температури повітря на виході сушильної камери, яка залежить від вологості вихідного продукту [2]. Підтримуючи температуру на виході в межах 70...90 °С, стабілізують вологість сухого продукту. Температуру повітря регулюють зміною подачі згущеного молока в сушильну камеру або зміною подачі перегрітої пари в нагрівальний калорифер. Опосередкований контроль може спричинити відхилення вологовмісту готового продукту від стандартизованого значення в межах $W \% = 4 \pm 0,5 \%$ [3], і порушення технологічного циклу через високу інерційність та низьку точність процесу регулювання [1].

Постановка задачі

Отже, виникає актуальна задача безпосереднього контролю вологості сухого молока в потоці, який забезпечує підтримання вологості всього обсягу продукції на необхідному рівні з достатньою точністю і управління цим процесом.

Поставлену задачу управління процесом сушіння можна розв'язати, використовуючи сучасне обладнання для автоматизації промислових процесів. Для отримання інформації про вологість сухого молока на виході, необхідний первинний вимірювальний перетворювач вологості, робота якого базується на методі безпосереднього контролю вологості в потоці. Відомий метод безпосереднього контролю вологості порошкоподібних матеріалів і засіб його реалізації [1].

Суть методу полягає в такому. Якщо опромінювати об'єкт контролю джерелом світла в інфрачервоній області, то відбитий від нього промінь сприймається фотоприймачем, який перетворює випромінювання, що на нього надійшло, в електричний сигнал. При цьому в інфрачервоній області коефіцієнт відбиття від вологого молока пов'язаний з вологістю W_x такою залежністю [1]:

$$\rho_x = (\rho_{\lambda_1} - W_x \cdot 10^{-3}), \quad (1)$$

де $\rho_{\lambda_1} = 0,87$ — коефіцієнт відбиття від сухого молока ($W_x = 0$).

Рівняння перетворення для вимірювального перетворювача вологості має вигляд [1]

$$U_{\Phi} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\Phi} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \cdot \tau_{\lambda_1} \Phi}{l^2 L^2} W_x, \quad (2)$$

де S_Φ — інтегральна чутливість фотоприймача, τ_n — коефіцієнт, що характеризує проходження світла через захисне скло, τ_0 — коефіцієнт що характеризує проходження світла через оптичну систему, $\tau_{\lambda 1}$ — коефіцієнт пропускання інтерференційного фільтра у вимірювальному перетворювачі, α — кут падіння світла на площадку фотоприймача, β — кут між нормаллю до відбивальної площадки і напрямом на відбиваючу площадку, R — радіус розсіювальних частинок, L — відстань від рівнояскравого диску до площадки фотоприймача, Φ — світловий потік, що випромінюється боковою поверхнею циліндра вольфрамової нитки лампи, l — відстань від рівнояскравого диску до вольфрамової нитки лампи, r — радіус рівнояскравого диску.

Дослідження показують [1], що світловий потік джерела світла Φ_n залежить від струму I і напруги U живлення. Для введення коригувального коефіцієнта (зменшення мультиплікативної складової похибки) запишемо рівняння світлового потоку джерела світла у вигляді

$$\Phi_n = I^4 \left\{ e^{\left[\frac{10 \cdot \ln\left(\frac{U}{I}\right)^2}{10 \cdot \ln U + \ln(U^2 I) + \ln\left[\frac{U}{I^2 \ln(U(I+1))}\right]} \right]} + \ln \left[\frac{U \left[\ln(U I) + \ln\left(\frac{U}{I}\right) \right]}{I \left[\ln(U I) \cdot \ln(U) + \ln(U) \cdot \ln\left(\frac{U}{I}\right) + 1 \right]} \right] \right\}. \quad (3)$$

Розв'язання задачі

Залежність (3) і покладемо в основу алгоритму корегування мультиплікативної складової похибки вимірювання вологості. З урахуванням цього наведемо структурну схему засобу контролю вологості методом безпосередньої оцінки (рис. 1). Ця схема засобу контролю вологості порошкоподібних матеріалів інваріантна до зміни світлового потоку Φ_n джерела світла (лампи).

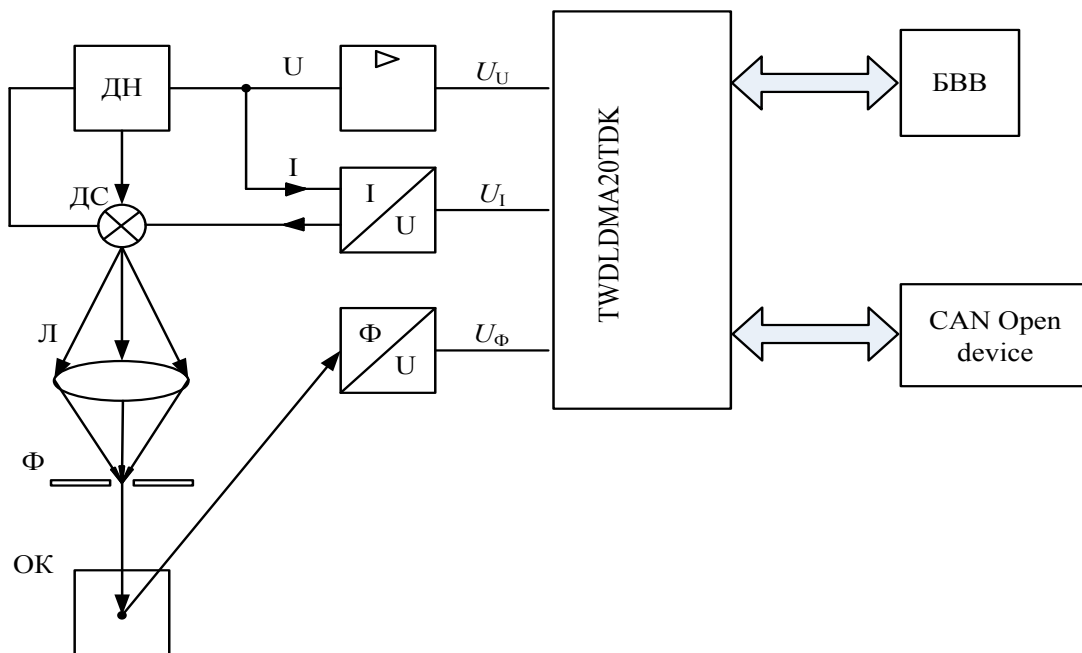


Рис. 1. Структурна схема засобу контролю вологості

Основними складовими цієї схеми є оптична система, до складу якої входить джерело напруги живлення ДН лампи ДС, лінза Л, фільтр Φ і об'єкт контролю ОК.

Напруга U живлення лампи масштабується підсилювачем, струм I живлення перетворюється у відповідне значення напруги U_I , а світловий потік Φ фотоприймачем перетворюється у значення фотоструму, а далі — в напругу U_Φ .

Перелічені вище інформативні сигнали надходять на аналогові входи модульного контролера TWDLMDA20DTK, що оснащується блоком введення та виведення інформації, з можливістю зв'язку з зовнішніми пристроями по мережі CAN open.

Для корегування мультиплікативної похибки необхідно отримати залежність для розрахунку коригувального коефіцієнта. Значення поправкового коефіцієнта визначається за формулою

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{в}}} \quad (4)$$

Перемноживши це значення поправкового коефіцієнта на вимірне значення $\Phi_{\text{в}}$ світлового потоку, отримаємо дійсне значення світлового потоку для конкретної вимірювальної процедури вологості порошкоподібного матеріалу:

$$\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{в}} \eta \quad (5)$$

Тепер стосовно отримання результату вимірювання.

Рівняння (2) являє собою залежність вхідної величини вологості — W_x від вихідної — напруги $U_{\text{ф}}$ на виході фотоприймача з перетворювачем струму в напругу. Із результатів моделювання засобу контролю вологості [1] випливає, що в діапазоні зміни вхідного сигналу (2...10 %), вихідна напруга змінюється в межах від 0,4 до 2,5 мВ. Для зведення зміни вихідної напруги $U_{\text{ф}}$ в діапазон зміни вхідного сигналу контролера необхідно значення цієї напруги підсилити в k раз вимірювальним підсилювачем

$$U_{ADC} = k \cdot U_{\text{ф}} = k \cdot \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\text{ф}} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \cdot \tau_{\lambda 1} \Phi}{l^2 L^2} W_x \quad (6)$$

В результаті аналого-цифрового перетворення за алгоритмом послідовного наближення чи порозрядного зрівноваження, отримаємо

$$N = \frac{U_{ADC}}{U_0} 2^n, \quad (7)$$

де n — розрядність регістра послідовного наближення; U_0 — значення опорної напруги.

Підставимо (6) в (7) і отримаємо остаточне рівняння перетворення:

$$N = k \cdot 2^n \cdot \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\text{ф}} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \cdot \tau_{\lambda 1} \Phi}{U_0 l^2 L^2} W_x \quad (8)$$

З постійними параметрами рівняння (8) статична характеристика перетворювача має лінійний характер.

Алгоритм процесу вимірювального контролю вологості з використанням контролера Twido 20DTK зображено на рис. 2.

Враховуючи те, що вимірювальний перетворювач є одним з елементів контура регулювання вологості, виникає задача включення цього перетворювача в систему автоматизації технологічного процесу сушки.

Застосування промислового логічного контролера Twido 20DTK дозволяє виконувати не тільки функцію обчислення вологості за запропонованим методом, а й використовуючи цей, та ряд інших параметрів, керувати всім технологічним процесом.

На рис. 3 показано запропоновану функціональну схему системи автоматизації процесу сушіння молока на прикладі дискової сушильної установки з використанням контролера Twido 20DTK і безпосереднім контролем вологості готового продукту в потоці.

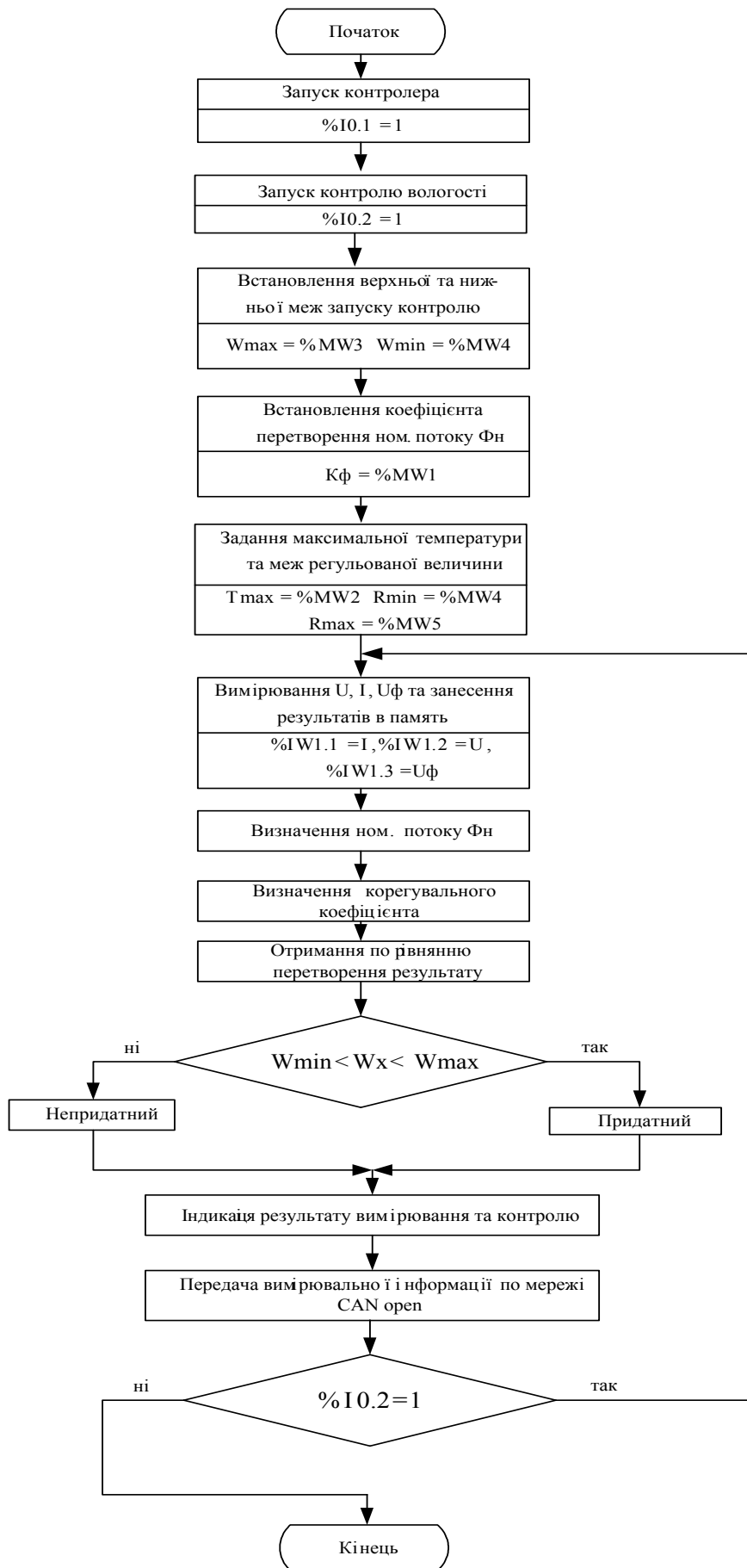


Рис. 2. Алгоритм вимірювального контролю вологості з використанням контролера Twido20DTK

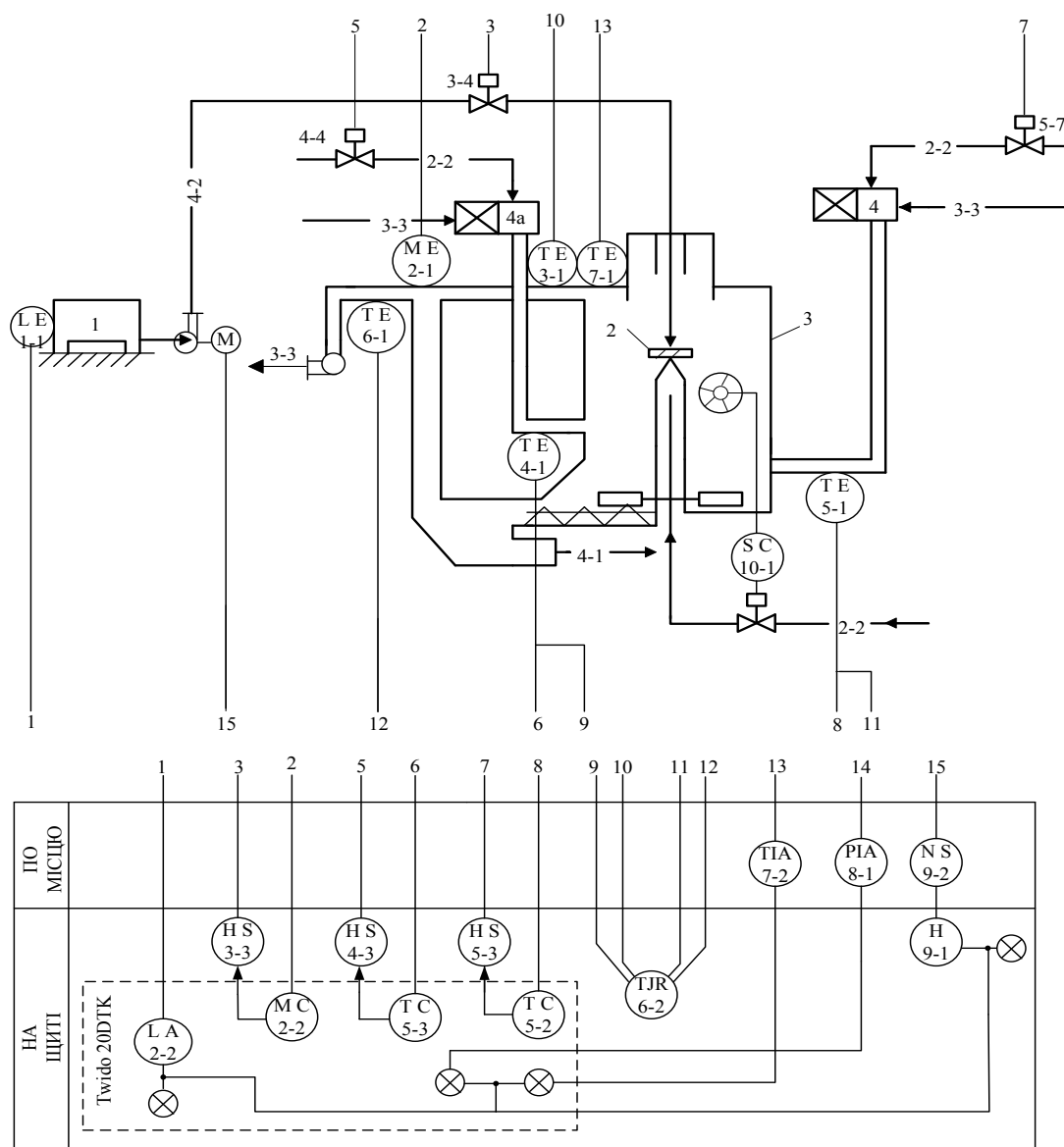


Рис. 3. Функціональна схема автоматизації процесу сушіння молока в дисковій сушильній установці з використанням контролера Twido

В таблиці подано перелік вхідних і вихідних сигналів, які забезпечують роботу системи автоматизації.

Сигнали в системі автоматизації процесу сушіння молока в дисковій сушильній установці

Назва сигналу	Позиція позначення	Тип сигналу
Входи		
Вологість готового продукту	2-1	аналоговий
Температура після I калорифер	4-1	аналоговий
Температура після II калорифер	5-1	аналоговий
Рівень в збірнику згущеного молока	1-1	дискретний
Температура відпрацьованого повітря	7-1	дискретний
Тиск пари, що надходить на турбину	8-1	дискретний
Виходи		
Регулювання подачі згущеного молока	2-2	аналоговий
Подача пари в калорифер I I	5-3	аналоговий
Подача пари в калорифер II	5-2	аналоговий
Включення-виключення двигуна насоса	—	дискретний
Температура повітря на виході камери	—	дискретний
Тиск пари на турбопривід	—	дискретний
Рівень в збірнику згущеного молока	—	дискретний

Використання мікроконтролера Twido для автоматизації технологічного процесу сушіння на основі безпосереднього методу контролю вологості має низку переваг перед аналогами, а саме [4]:

- модульна конструкція мікроконтролера дозволяє швидко змінювати апаратну конфігурацію, необхідну для технологічного процесу;
- мікроконтролер має вбудовану функцію ПІД-регулятора з можливістю швидкого налаштування параметрів для забезпечення автоматичного керування;
- для програмування і конфігурування мікроконтролера застосовується зручне програмне забезпечення (TwidoSoft, TwidoSuite) з можливістю симуляції програми.

Як базовий необхідно застосувати модульний контролер Twido TWDLDMA20DTK. Оскільки базовий контролер має лише дискретні входи та виходи, необхідно встановити додаткові модулі розширення входів/виходів. Модуль TWDAMI4LT (4 аналогових входи) застосовуємо для підключення датчиків температури 4-1 і 5-1, наприклад, термометрів опору Pt1000. Для керування паровими клапанами калориферів I та II використаємо двоканальний (0...+10 В) модуль розширення аналогових виходів TWDAVO2HT. Комбінований модуль розширення входів/виходів TWDAMM3HT застосовуємо для підключення датчика вологості 2-1 та формування керувальної дії на регульовальний клапан 3-4, що змінює подачу згущеного молока в сушильну камеру.

Розглянемо процес автоматичного регулювання вологості сухого молока на базі промислового контролера Twido 20DTK з використанням вбудованої функції ПІД-регулятора з можливостями налаштування законів регулювання, необхідних для заданої роботи автоматичної системи. Приклад налаштування ПІД-регулятора показано на рис. 4. Конфігурування регулятора здійснюємо в програмному середовищі TwidoSoft [5].

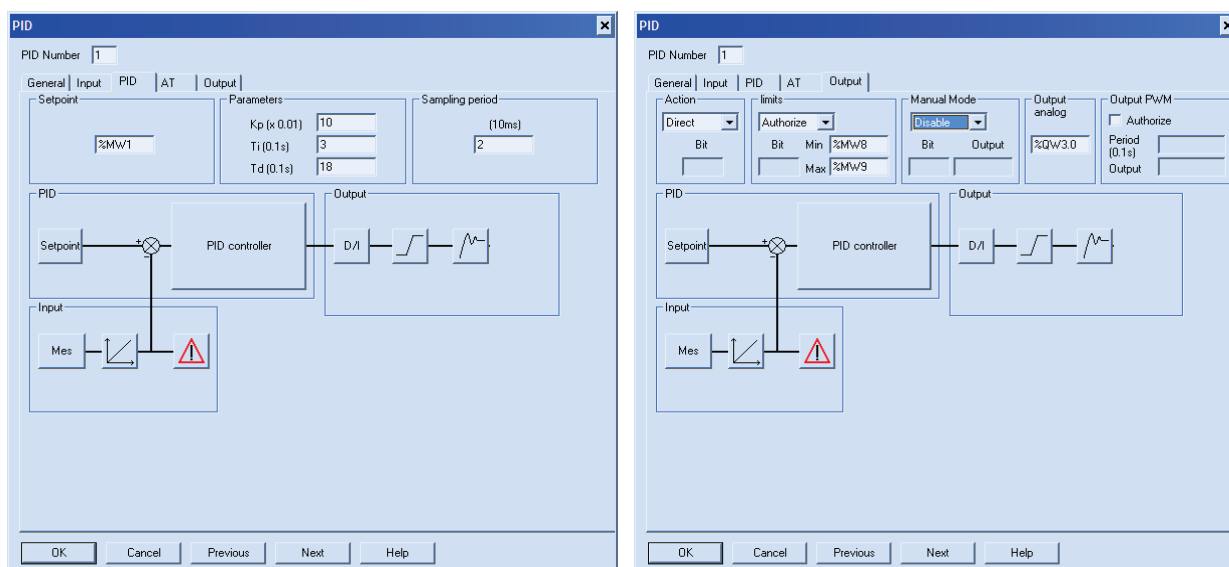


Рис. 4. Налаштування ПІД-регулятора в середовищі TwidoSoft
вкладки PID Output

Регулятор має обмеження максимального і мінімального рівня вихідного сигналу, аварійну сигналізацію рівня вхідного сигналу. На вкладці налаштування ПІД-регулятора задаються параметри налаштування, задане значення вологості міститься у внутрішньому слові пам'яті контролера. Виміряне значення з первинного перетворювача безпосереднього вимірювання через вхід аналогового модуля розширення проходить через блок лінійного перетворення і надходить на вхід суматора, сигнал регулювання після цифроаналогового перетворення з обмеженням вихідної величини, що задається внутрішніми словами, надходить на аналоговий вихід модуля розширення.

Висновки

1. Удосконалено засіб прямого контролю вологості, як найінформативнішого параметра, що характеризує якість сухого молока, адаптивного до електричних параметрів оптичного випромінювача за рахунок зменшення мультиплікативної похибки та застосування мікроконтролера Twido 20DTK. Це дозволило підвищити точність контролю вологості сухого молока до значення, характерного для термогравіметричного методу вимірювання.

2. Запропоновано функціональну схему автоматизації технологічного процесу сушіння молока, в основу якої покладено засіб прямого контролю вологості, що забезпечує регламентовану для молокозаводів якість продукції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів: монографія / В. В. Богачук, Б. І. Мокін. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 141 с.
2. Системы автоматизированного управления технологическими процессами предприятий молочной промышленности / под ред. Брусиловского Л. П. — М. : Агропромиздат, 1986. — 232 с.
3. ГОСТ 29246-91. Консервы молочные сухие. Методы определения влаги. — Взамен ГОСТ 8764-73 в части разд.7 (методов определения массовой доли влаги в сухих молочных продуктах); Введ. 01.07.93. — М. : Издательство стандартов, 1995. — 7 с.
4. Twido. Программируемые контроллеры: справочное руководство по аппаратным средствам / Telemecanique [Электронный ресурс]. — TWD USE 10AE. — 05/2002. — 205 с. — Режим доступа: http://www.schneider-electric.ru/catalog.aspx?ob_no=3223&d_no=3246
5. Twido. Программируемые контроллеры : справочное руководство по программному обеспечению Schneider Electric. — Telemecanique. — TWD USE 10AE . — 05/2002. — 478 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Надійшла до редакції 17.03.09
Рекомендована до друку 28.03.09

Богачук Володимир Васильович — доцент, **Проценко Дмитро Петрович** — асистент.
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті;
Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань.
Вінницький національний технічний університет