УДК 667.6

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ КЕРУВАННЯ ЗМІШУВАЧЕМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ВОДНОДИСПЕРСІЙНИХ ФАРБ

Лісовець С. М., Дерикіт С. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. *Створення засобів для підвищення якості виготовлення воднодисперсійних фарб, яка досягається застосуванням змішувача для виготовлення напівфабрикату спеціальної конструкції і визначенням оптимальних режимів його роботи.*

Методика. *Визначення передатних функцій засобів автоматизації, розрахунок на їх основі параметрів налагодження цифрового регулятора з подальшим моделюванням в пакеті Simulink математичного пакета MatLAB.*

Результати. *Отримання можливості створення таких комп'ютерно-інтегрованих систем керування вже існуючими змішувачами спеціальної конструкції, які можуть забезпечити оптимальні значення характеристик воднодисперсійних фарб.*

Наукова новизна. *Встановлені залежностей між температурою в змішувачі спеціальної конструкції і іншими режимами його роботи (з одного боку) та характеристиками воднодисперсійних фарб (паропроникність, еластичність, стійкість до вологого стирання і т. і.) (з іншого боку).*

Практична значимість. *Виготовлення воднодисперсійних фарб високої якості, які мають підвищені показники паропроникності, еластичності, стійкості до вологого стирання і т. і., дозволяє покращити експлуатаційні характеристики будівель і споруд, де такі фарби використовуються.*

Ключові слова: *водна дисперсія, в'яжуче, напівфабрикат, плівкоутворювач, полімеризація, фарба*

Під терміном «воднодисперсійні фарби» розуміється досить велика кількість типів і марок фарб на водній основі, в'яжучим яких є водна дисперсія плівкоутворюючого синтетичного полімера або сополімера. В'яжуче отримують, в основному, двома способами: або шляхом емульсійної полімеризації, або шляхом емульсійно-суспензійної полімеризації. Воднодисперсійні фарби мають багато суттєвих переваг порівняно з масляними і деякими іншими фарбами, до яких відносять стійкість до атмосферних впливів, довговічність, міцність, практично повну відсутність запаху, стійкість до забруднення, велику швидкість висихання тощо. Але головною перевагою є те, що в таких фарбах в якості розчинника використовується вода. Окрім безпосередньо таких інгредієнтів, як плівкоутворювачі, пігменти і наповнювачі, воднодисперсійні фарби зазвичай утримують ще й емульгатори, стабілізатори, диспергатори, згущувачі,

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

антиспінювачі (піногасники), консервуючі і структуруючі добавки, інгібітори корозії, гідрофобізуючі добавки тощо [1-4].

Технологія виготовлення воднодисперсійних фарб є відносно простою і складається з чотирьох технологічних операцій: виготовлення напівфабрикату (диспергуючої суміші), виготовлення пігментних паст в результаті перетирання напівфабрикату з пігментами, виготовлення воднодисперсійних фарб в результаті змішування пігментних паст з в'яжучим, розлив воднодисперсійних фарб у відповідну тару.

Виготовлення напівфабрикату (диспергуючої суміші) зазвичай відбувається в змішувачі. В нього спочатку завантажується приблизно $80\,\%$ від потрібної кількості води, після чого вона нагрівається (наприклад, насиченою або перегрітою парою) до температури $(50\ldots60)\,°\mathrm{C}$. Після чого, в залежності від типу і марки фарби, в змішувач в потрібній послідовності додаються емульгатори, диспергатори, стабілізатори, антисептики тощо, а також вода.

В якості змішувачів для змішування компонентів воднодисперсійних фарб застосовуються зазвичай диспергатори різних виробників: наприклад, серед них відомими є диспергатори серії РДН. До цієї серії входять диспергатори РДН-2, РДН-5, РДН-7, РДН-10 в різних модифікаціях. Їх продуктивність, в залежності від моделі, становить від 3 до $40\,\mathrm{м}^3/\text{год}$ при напорі від $0{,}15$ до $0{,}5\,\text{МПа}$.

Принцип роботи диспергаторів серії РДН (а також диспергаторів аналогічної конструкції інших виробників) полягає в тому, що інгредієнти напівфабрикату (диспергуючої суміші), такі як емульгатори, диспергатори, стабілізатори, антисептики і деякі інші, потрапляючи в диспергатор і рухаючись з великою кутовою швидкістю, проходять ряд щілин між ротором і статором. В результаті цього уміст диспергатора змінює свою консистенцію, становлячись більш однорідним. Отримання якісного напівфабрикату (диспергуючої суміші) засноване на тому, що щілини (зазори) між кромками робочих органів диспергатора (між статором і ротором) є досить малими.

Взагалі диспергатори серії РДН можуть використовуватися не тільки при змішуванні воднодисперсійних фарб, але й в інших галузях: для відновлення сухого молока, нормалізації молока по жиру, виробництва сиру, виробництва майонезів і кетчупів, виробництва овочевих паст, виробництва косметичних засобів і так далі. Але найбільш ефективними вони є при виробництві воднодисперсійних, водоемульсійних,

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

латексних і інших аналогічних за структурою і складом фарб. Зокрема, механічна обробка і диспергування напівфабрикату (диспергуючої суміші) може впливати на такі характеристики воднодисперсійних фарб, як криюча спроможність, яскравість і стійкість до впливу зовнішніх чинників, а також на енерговитратність і час виготовлення.

Постановка завдання

Результати більшості як теоретичних, так і практичних досліджень показують, що температура в диспергаторі і час перебування напівфабрикату (диспергуючої суміші) в диспергаторі суттєво впивають на характеристики воднодисперсійних фарб.

Керувати часом відносно легко: наприклад, це можна здійснити шляхом зміни тиску напівфабрикату (диспергуючої суміші) на вході в диспергатор, що вплине на витрати напівфабрикату (диспергуючої суміші) через диспергатор.

Керування ж температурою має свої особливості, які вимагають застосування для її підтримання більш складних законів керування. Перша особливість полягає в тому, що диспергатори серії РДН є проточними: тобто напівфабрикат (диспергуюча суміш) подається зі сторони всмоктуючого патрубка і відбирається зі сторони нагнітального патрубка. Друга особливість полягає в тому, що, в залежності від потреб технологічного процесу, витрати напівфабрикату (диспергуючої суміші) через диспергатор в кожний момент часу можуть бути різними.

Це приводить до того, що певні параметри об'єкта керування (який представляє собою масу напівфабрикату (диспергуючої суміші), що знаходиться в диспергаторі) в один момент часу будуть відрізнятися від таких же параметрів в інший момент часу.

Таким чином, виникає необхідність створення ефективної системи керування температурою в диспергаторі серії РДН з використанням засобів обчислювальної техніки і цифрових законів керування – тобто комп'ютерно-інтегрованої системи керування.

Результати досліджень

Згідно з технологічним процесом виготовлення напівфабрикату (диспергуючої суміші) для воднодисперсійних фарб, температура такого об'єкта керування повинна була складати від 50 до 60 °С. Внаслідок того, що рецептура напівфабрикату (диспергуючої суміші) може бути змінена, а диспергатор повинен бути «універсальним», було прийнято, що діапазон температур об'єкта керування може складати від 40 до

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

70 °C. Загальна структура контуру підтримання температури напівфабрикату (диспергуючої суміші) в диспергаторі наведена на рис. 1.

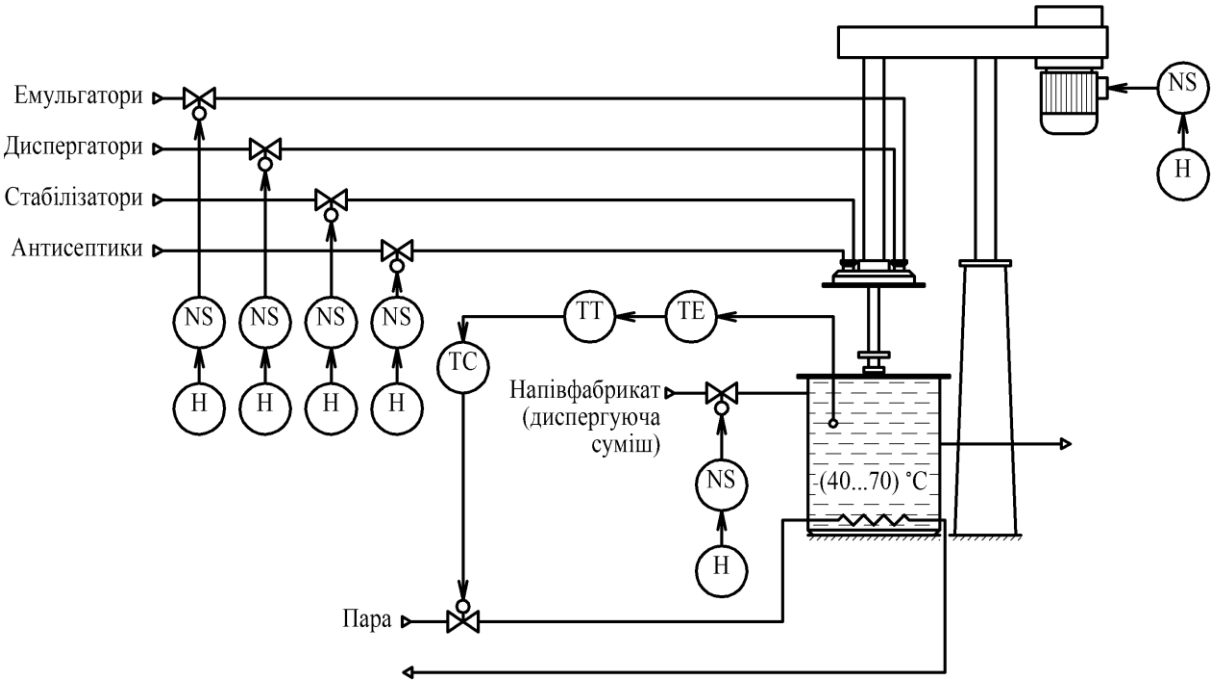

Рис. 1. **Загальна структура контуру підтримання температури напівфабрикату (диспергуючої суміші) в диспергаторі**

Як можна побачити, температура вимірювалася первинним вимірювальним перетворювачем ТЕ, переводилася в цифровий формат за допомогою нормуючого перетворювача ТТ і надходила на регулятор ТС, який керував подачею насиченої або перегрітої пари до теплообмінника, що обмінювався теплом з диспергатором.

Класична побудова контуру підтримання температури з використанням неперервного регулятора наведена на рис. 2. В якості неперервного регулятора з передатною функцією $W_{РЕГ}(p)$ зазвичай використовується ПІ- або ПІД-регулятор.

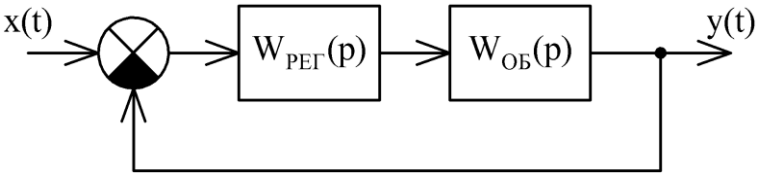

Рис. 2. **Побудова контуру підтримання температури з використанням неперервного ПІ- або ПІД-регулятора**

Для переходу від неперервного до цифрового регулювання необхідно було замінити неперервний регулятор з передатною функцією $W_{РЕГ}(p)$ цифровим

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

регулятором, який складається з імпульсного елемента K, фільтра з дискретною передатною функцією $W_{\Phi}(z)$ і екстраполятора нульового порядку з неперервною передатною функцією $H(p)$ [5].

Така побудова контуру підтримання температури з використанням цифрового регулятора наведена на рис. 3.

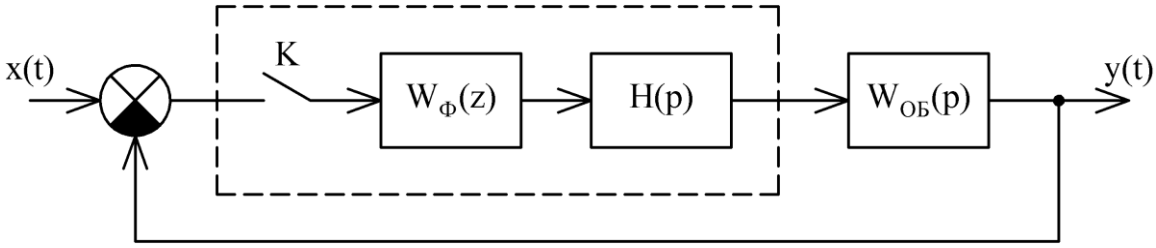

Рис. 3. **Побудова контуру підтримання температури з використанням цифрового регулятора**

Імпульсний елемент K здійснював квантування по часу вхідного сигналу цифрового регулятора з періодом T, а екстраполятор нульового порядку з передатною функцією

$$H(p)=\frac{1-e^{-Tp}}{p} \tag{1}$$

утримував (фіксував) вихідний сигнал цього регулятора протягом періоду квантування T. Для синтезу цифрового регулятора було застосовано так зване «переобладнання» неперервного регулятора, яке полягало в забезпеченні максимально можливої «близькості» часових і частотних характеристик неперервного і цифрового регуляторів [6]. Для цього спочатку була отримана (при заданому T) дискретна передатна функція об'єкта керування в вигляді

$$W_{ОБ}(z)=Z\{W_{ОБ}(p)H(p)\}, \tag{2}$$

після чого, застосувавши до $W_{ОБ}(z)$ білінійне w-перетворення

$$z \leftarrow \frac{1+\frac{wT}{2}}{1-\frac{wT}{2}}, \tag{3}$$

була отримана псевдонеперервна передатна функція об'єкта керування $W_{ОБ}(w)$.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

Після цього були розраховані параметри налагодження псевдонеперервного ПІ-регулятора $W_{РЕГ}(w)$ за умови того, що показник коливальності контуру підтримання температури $M = 1{,}1$, а інтегральна квадратична оцінка якості перехідного процесу

$$\int_0^{\infty} \varepsilon^2(t)\,dt \to \min . \tag{4}$$

Типовий перехідний процес в контурі підтримання температури з використанням як неперервного ПІ-регулятора, так і цифрового регулятора (при невеликому періоді квантування T) наведено на рис. 4.

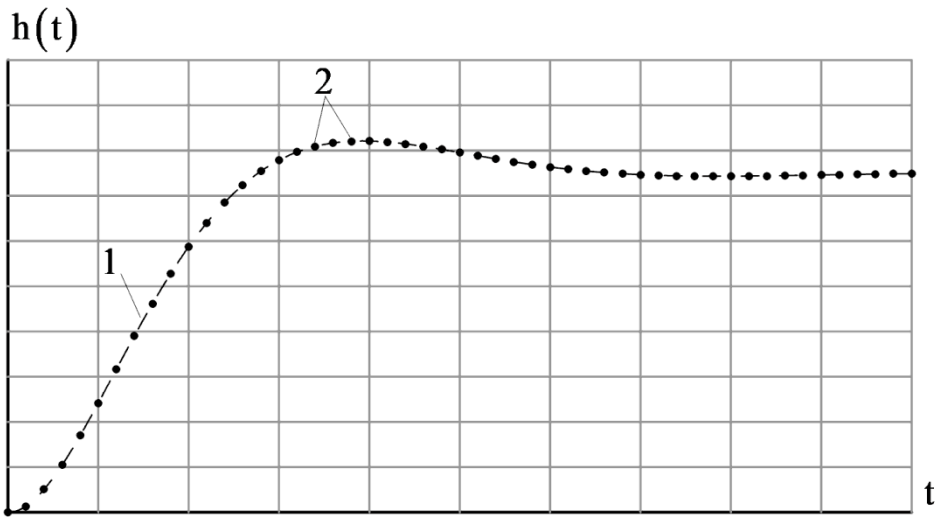

Рис. 4. **Типовий перехідний процес в контурі підтримання температури: 1 – неперервний ПІ-регулятор; 2 – цифровий регулятор**

Як можна побачити, крива 1 і дискретні відліки 2 практично співпадають. Таким чином, можна вважати, що цифровий регулятор формує керувальний вплив не гірше неперервного ПІ-регулятора. Але перевагою цифрового регулятора є практично повна відсутність дрейфу робочих характеристик, який є характерним для аналогового обладнання. А також підвищена надійність і відмовостійкість. Алгоритм цифрового регулювання можна реалізувати за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), наприклад, виробництва ТОВ «ВО ОВЕН» (м. Харків, Україна). Так як в ПЛК алгоритм цифрового регулювання реалізується за допомогою програного забезпечення, то переналагодження цифрового регулятора або реалізація (за необхідності) більш складного алгоритму регулювання є відносно простою задачею.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

Висновки

Застосування цифрового регулювання у порівнянні з неперервним ПІ-регулюванням підвищує достовірність роботи контуру підтримання температури напівфабрикату (диспергуючої суміші) в диспергаторі. Таким чином, це дає можливість підвищити якість виготовлення воднодисперсійних фарб.

Список використаних джерел

1. Казакова Е. Е. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е. Е. Казакова, О. Н. Скороходова. – М.: ООО «Пэйнт-Медиа», 2003. – 136 с.
2. Толмачев И. А. Водно-дисперсионные краски: Краткое руководство для инженеров-технологов / И. А. Толмачев, Н. А. Петренко. – М.: ООО «Пейнт-Медиа», 2010. – 106 с.
3. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А. Д. Яковлев. – СПб.: Химиздат, 2008. – 448 с.
4. Кузьмичев В. И. Водорастворимые плёнкообразователи и лакокрасочные материалы на их основе / В. И. Кузьмичев, Р. К. Абрамян, М. П. Чагин. – М.: Химия, 1986. – 152 с.
5. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
6. Поляков К. Ю. Основы теории цифровых систем управления: Учеб. пособие / К. Ю. Поляков. – СПб.: СПбГМТУ, 2006. – 161 с.
7. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: Учебный курс / Ю. Лазарев. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.
8. Дьяконов В. П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.

References

1. Kazakova, Ye.Ye. & Skorokhodova, O.N. (2003). *Vodno-dispersionnye akrilovye lakokrasochnye materialy stroitelnogo naznacheniya* [Water-dispersion acrylic laco-colorful materials for construction purposes]. Moscow: OOO «Peynt-Media» [in Russian].
2. Tolmachev, I.A. & Petrenko, H.A. (2010). *Vodno-dispersionnye kraski. Kratkoe rukovodstvo dlya inzhenerov-tekhnologov* [Water dispersion paints. Quick reference guide for process engineers]. Moscow: OOO «Peynt-Media» [in Russian].
3. Yakovlev, A.D. (2008). *Khimiya i tekhnologiya lako-krasochnykh pokrytiy* [Chemistry and paint rat technology]. SPb.: Khimizdat [in Russian].
4. Kuzmichev, V.I., Abramyan, R.K. & Chagin, M.P. (1986). *Vodorastvorimye plen-koobrazovateli i lakokrasochnye materia-ly na ikh osnove* [Water-soluble film-forming agents and paint-and-paint materials based on them]. Moscow: Khimiya [in Russian].
5. Izerman, R. (1984). *Tsifrovye sistemy upravleniya* [Digital control systems]. Moscow: Mir [in Russian].
6. Polyakov, K.Yu. (2006). *Osnovy teorii tsifrovykh sistem upravleniya. Ucheb. Posobie* [Basics of Digital Management Systems Theory: Training Manual]. SPb.: SPbGMTU [in Russian].
7. Lazarev, Yu. (2005). *Modelirovanie protsessov i sistem v MATLAB: Uchebnyy kurs* [Process and system modeling in MATLAB: Training course]. SPb.: Piter; K.: Izdatelskaya gruppa BHV [in Russian].
8. Dyakonov, V.P. & Kruglov, V.V. (2001). *MATLAB. Analiz, iden-tifikatsiya i modelirovanie sistem. Spe-tsialnyy spravochnik* [MATLAB. Analysis,

identification and modeling of systems. Special handbook]. SPb.: Piter [in Russian].

Lisovets Sergey
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3643-046X
ser.lis.290171@gmail.com
Kyiv National University of Technologies and Design

Derikit Sergey
sergeykot987@gmail.com
Kyiv National University of Technologies and Design

Компьютерно-интегрированное управления смесителем для изготовления полуфабриката для воднодисперсионных красок

Лисовец С. Н., Дерикит С. А.
Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. *Создание средств для повышения качества изготовления воднодисперсионных красок, которое достигается применением смесителя для изготовления полуфабриката специальной конструкции и определением оптимальных режимов его работы.*

Методика. *Определение передаточных функций средств автоматизации, расчёт на их основе параметров настройки цифрового регулятора с последующим моделированием в пакете Simulink математического пакета MatLAB.*

Результаты. *Получение возможности создания таких компьютерно-интегрированных систем управления уже существующими смесителями специальной конструкции, которые могут обеспечить оптимальные значения характеристик воднодисперсионных красок.*

Научная новизна. *Установлены зависимостей между температурой в смесителе специальной конструкции и другими режимами его работы (с одной стороны) и характеристиками воднодисперсионных красок (паропроницаемость, эластичность, стойкость к влажному истиранию и т. д.) (з другой стороны).*

Практическая значимость. *Изготовление воднодисперсионных красок высокого качества, которые имеют повышенные показатели паропроницаемости, эластичности, устойчивости к влажному истиранию и т. д., позволяет улучшить эксплуатационные характеристики зданий и сооружений, где такие краски используются.*

Ключевые слова: *водная дисперсия, вяжущее, полуфабрикат, плёнкообразователь, полимеризация, краска*

Computer-integrated mixer control for the manufacture of semi-finished products for water-dispersion paints

Lisovets S. N., Derikit S. A.
Kyiv national university of technologies and design

Purpose. *Creation of tools to improve the quality of the manufacture of water-dispersion paints, which is achieved by using a mixer for the manufacture of semi-finished products of a special design and determining the optimal modes of its operation.*

Methodology. *Determination of transfer functions of automation tools, calculation on*

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019

their basis of digital controller settings with subsequent modeling in the Simulink package of the MatLAB mathematical package.

Findings. *Getting the opportunity to create such computer-integrated control systems for existing mixers of a special design that can provide optimal characteristics of water-dispersion paints.*

Originality. *Dependencies are established between the temperature in the mixer of a special design and other modes of its operation (on the one hand) and the characteristics of water-dispersion paints (vapor permeability, elasticity, resistance to wet abrasion, etc.) (on the other hand).*

Practical value. *The manufacture of high-quality water-dispersion paints, which have increased vapor permeability, elasticity, resistance to wet abrasion, etc., can improve the operational characteristics of buildings and structures where such paints are used.*

Keywords: *water dispersion, binder, prefabricated, film former, polymerization, paint*

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2019