

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 532.542

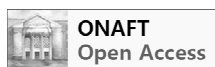
ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ  
АРМАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ  
IMPROVING THE PERFORMANCE OF PIPE FITTINGS IN THE PROCESS

Володін С.О., Мирончук В.Г. д-р техн. наук, професор  
Національний університет харчових технологій, м. Київ  
Volodin S., Myronchuk V.  
National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Актуальним на сьогоднішній день є завдання підвищення працездатності електро пневматичного приводу запірно-регулюючої трубопровідної арматури з метою досягнення експлуатаційних характеристик при змінних температурних показниках навколишнього середовища, особливо в період запуску агрегатів після тривалої зупинки, швидкого переналаджування технологічного циклу роботи запірно-регулюючої трубопровідної арматури, зменшення кількості відмов елементів запірно-регулюючої трубопровідної арматури (ЗРТА). Об'єктом дослідження є конструкційні та технологічні параметри робочих органів ЗРТА з електропневмоприводом слідкуючого типу, що працює в широкому діапазоні температур навколишнього середовища. В роботі поставлено за мету - підвищення надійності ЗРТА на етапі конструювання з приводом, шляхом створення моделей, які визначають оптимальне поєднання вихідних конструктивних параметрів і зусиль герметизації, забезпечують задані норми герметичності, міцність і ресурс. Для вирішення поставлених завдань в роботі: проведено аналіз конструкційних і експлуатаційних характеристик запірно-регулюючої трубопровідної арматури; досліджено особливості роботи запірно-регулюючої трубопровідної арматури в умовах експлуатації на підприємствах цукрового виробництва і виділено вимоги, що пред'являються до електропневмоприводу в складі ЗРТА, та його навантажувальним характеристикам. Сучасні апаратні засоби і математичне забезпечення ЕОМ дозволяють розв'язувати системи нелінійних диференціальних рівнянь, найбільш точно описувати процеси в системах пневмоавтоматики, отримувати необхідні статичні та динамічні характеристики. Це дозволяє скоротити час проектування і доведення елементів запірно-регулюючої арматури з електропневмоприводом, а також забезпечити раціональний вибір параметрів і необхідну якість перехідних процесів.

Relevant today is the task of improving efficiency electro pneumatic actuator valves and pipe fittings to achieve operational performance under changing temperature environment, especially during startup of units after a long stop, fast readjust the technological cycle of valves and pipe fittings, reduce failures of valves and pipe fittings. Object is structural and technological parameters of working bodies of valves and pipe fittings electro pneumatic trailing type, operating in a wide range of ambient temperatures. The work set the goal - improving the safety valves and pipe fittings during layout driven by creating models that determine the optimal combination of initial design parameters and effort sealing ensures the standards of integrity, strength and resource. To address the problems at work: analysis construction and performance valves and pipe fittings; The features of valves and valves in operation at the enterprises of sugar production and allocate requirements to electro pneumatic composed of valves and pipe fittings, and its load characteristics. Modern hardware and software of computers allow to solve a system of nonlinear differential equations that most accurately describe processes in pneumatic systems, obtain the necessary static and dynamic characteristics. This reduces the design time and bring elements of the valves of electro pneumatic and ensure rational choice of parameters and the required quality of transients.

**Ключові слова:** проектування, запірно-регулююча, трубопровідна, арматура, електропневматика.

**Keywords:** design, locking-regulating, valves, fittings, electro pneumatic.

Сфера застосування запірно-регулюючої трубопровідної арматури (ЗРТА) дуже широка: це переробна промисловість, вакуумна техніка, трубопровідний транспорт, гідропневмопаливні системи різних машин, апаратів та обладнання харчових виробництв, продуктопровідні системи цукрових заводів, тощо. Можливість створення гнучких автоматизованих систем керування технологічних процесів з ЗРТА і їх надійність є найважливішою

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

характеристикою машин, апаратів та обладнання, яка визначає нормальну експлуатацію, ризики аварійних ситуацій, безпеки, екологічну обстановку.

Найбільш важливими конструкційними вузлами запірної ЗРТА, що забезпечують герметичність при перекритті потоку робочого середовища, є затвори – герметичні з'єднання, що складаються з золотника і сідла, на які припадає до 50 % всіх відмов. Для порівняння: на корпусні елементи припадає 10-15%, на пари тертя – 15%

Забезпечення функціональної надійності ЗРТА закладається на стадії проектування і компоновки із приводом керування. Із загального числа відмов, пов'язаних з порушенням роботи ЗРТА, 2/3 обумовлені конструкторсько-технологічними дефектами. При вдосконаленні конструкції ЗРТА необхідно, насамперед забезпечення таких властивостей: герметичність, міцність, довговічність, гнучкість системи керування, швидкість переналаджування при зміні умов технологічного процесу.

**Формулювання проблеми.** Системи управління електропневмоприводів (ЕПП) для ЗРТА в даний час забезпечують безперебійну і надійну роботу механізмів у цукровому виробництві. Функціональні можливості сучасних ЕПП багато в чому визначаються характеристиками вбудованих систем управління, а також параметрами силової частини. Найбільше поширення отримав електропневмопривод з мікропроцесорним керуючим пристроєм, що дозволяє організувати регулювання вихідних змінних в широкому діапазоні, з високою швидкістю і точністю.

Предметом дослідження є процеси інтенсифікації роботи ЗРТА, що функціонує в умовах технологічного обладнання цукрового виробництва.

В роботі поставлено ряд завдань: дослідити статичні і динамічні характеристики ЕПП в складі ЗРТА з урахуванням зміни температури навколишнього середовища на імітаційних моделях і експериментальному стенді. При вирішенні поставлених завдань були використані: теорія електропневмоприводу і елементи гідрогазодинаміки, теорія автоматичного керування, чисельне моделювання, а також експериментальні дослідження. Імітаційне моделювання здійснювалось в середовищі MathCAD, VisSim. Перед початком досліджень проведено ретельний аналіз основних властивостей трубопровідної арматури. Характеризується арматура експлуатаційними і конструкційними властивостями. Експлуатаційні характеристики визначають область застосування арматури, конструкційні особливості конструкції, що впливають на метод управління, монтажу, технічного обслуговування і ремонту. До експлуатаційних характеристик відносяться: клас арматури; тип виробу; матеріал основних деталей; тип приводу.

Конструкційними характеристиками арматури є: будівельна довжина; будівельна висота; тип приєднувальних патрубків; спосіб приєднання до трубопроводу; тип ущільнюючих кілець.

Алгоритм вибору показників арматури повинен включати:

- 1) Вид арматури (функціональне призначення);
- 2) Діаметр номінальний;
- 3) Тиск номінальний або тиск робочий (розрахунковий);
- 4) Параметризацію робочого середовища:
  - хімічний склад і агрегатний стан;
  - температурний діапазон;
  - тиск і температура робочого середовища в режимах порушення нормальних умов і аварії;
  - тиск і температура робочого середовища при нестационарних режимах експлуатації;
- 5) Герметичність в затворі;
- 6) Кліматичне виконання (з умовати оточуючого середовища);
- 7) Зона розміщення по пожежобезпеці і надійність захисту електрообладнання;
- 8) Види і параметри зовнішніх впливів;
- 9) Параметри впливів арматури на оточуюче середовище.

Матеріали ущільнюючих елементів обирають з врахуванням їх корозійної стійкості в робочих середовищах і з заданими експлуатаційними умовами. [ 3 ]

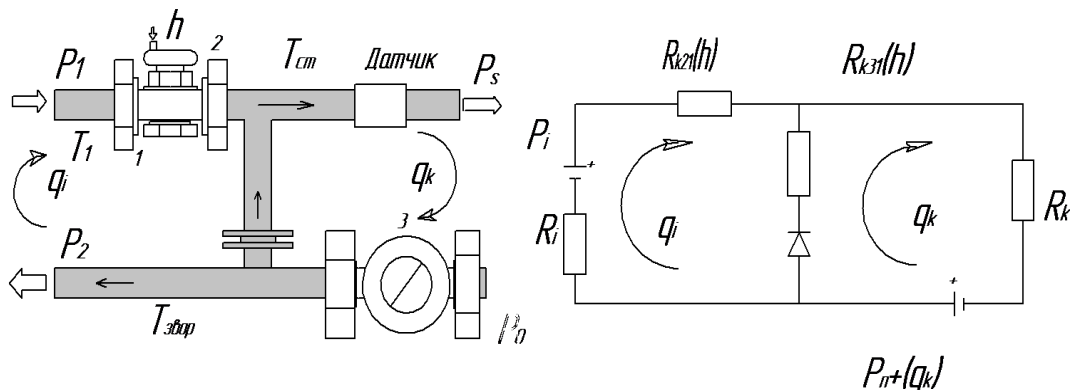
Традиційно в процесі синтезу законів і алгоритмів керування системами опалення будівель і споруд прийнято використовувати прості лінійні математичні моделі ОУ, як правило, другого порядку, з урахуванням транспортного запізнення сигналу управління. Дійсно, при виконанні умов експлуатації системи теплоспоживання використання класичних методів управління лінійними системами другого порядку цілком виправдано. Для цього достатньо синтезувати ПД-закон, розрахувати параметри одним з відомих методів: наприклад, забезпечити відповідність коефіцієнтів характеристичного рівняння коефіцієнтам Баттерворда або вирішити рівняння Ріккати щодо параметрів регулювання. Проблема нелінійності релейного елемента вирішується за допомогою гармонійної лінеаризації, яку частіше застосовують при використанні ШІМ[1,2].

Однак умови експлуатації можуть не тільки істотно змінити параметри системи, але й надати нелінійність залежності самих параметрів від стану системи і зовнішніх чинників. З огляду на можливості ПЛК, сучасні рішення в галузі управління можуть базуватися на максимально можливої інформації про параметри об'єкта як

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

в синтезі управління, так і в моделюванні. Тому в цьому матеріалі розглянуто питання аналізу математичної моделі системи теплопостачання.

Розглянемо нелінійні властивості вузлів змішування систем теплопостачання на основі електромеханічного клапана. Вузли змішування можна класифікувати за структурою включення, так, існує три способи включення клапана в гідравлічну систему: включення на трубопроводі підведення продукту; включення на зворотному трубопроводі; включення клапану на кілька виходів.



**Рис. 1 – Структурна та еквівалентна схеми вузла з клапаном на трубопроводі підведення продукту**

$Q_i, Q_k$  (т/год) – об'єм теплоносія на вході змішувача і у внутрішньому контурі;  $P_1, P_2, P_s, P_o$  (кПа, кПа) – тиск теплоносія на відповідній ділянці трубопроводу;  $h$  (мм) – місцерозташування штока електромеханічного клапана;  $T_1, T_2, T_{cm}, T_{звор}$  (°C) – температура теплоносія на відповідній ділянці трубопроводу. Процес змішування рідин з різною температурою має інерційний характер, і фактична температура що подає теплоносій описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dT^\circ}{dt} = \frac{(T^\circ_1(t) \cdot g + T^\circ_{звор}(t) \cdot (1 - g)) - T^\circ}{T_{cm}} \quad (1)$$

де  $g$  - коефіцієнт змішування води, що подається на технологічну ділянку.

Управління коефіцієнтом змішування безпосередньо забезпечується електромеханічним клапаном, а саме зміною положення штока клапана  $h_{шт} \in [0, h_{max}]$  або в нормованому вигляді  $h_{шт\ норм} \in [0, 1]$ . Використання нормованого значення положення штока клапана визначається наступними умовами:

- в процесі аналізу немає необхідності докладно розглядати фізичні характеристики кожного типу клапана;
- технічні характеристики випускаються виробництвом клапанів дані в нормованому безрозмірному вигляді;
- методи розрахунку і проектування теплових вузлів, що застосовуються виробником, також будуються на нормованих величинах.

Динамічна залежність положення штока від керуючого сигналу описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{u(t)}{T_{np}}; \quad (2)$$

де  $T_{np}$  - тривалість переміщення штока, яка визначається параметрами привода. Величина  $T_{np}$  для різних видів клапанів знаходиться в межах від 1,2 до 350 с;  $u(t)$  - сигнал управління, який може приймати одне з дискретних значень  $[-1, 0, +1]$ , рис.2.

Враховуючи що в якості управління та положення штока розглядаються нормовані значення, то у параметра  $T_{np}$  простий і зрозумілий фізичний зміст: тривалість переміщення штока від одного крайнього положення до протилежного.

Якщо припустити, що є лінійна залежність  $g(h) = h$ , то рівняння переміщення штока клапана можна записати в операторній формі Лапласа і застосувати класичний закон ПІД регулювання. Практичний досвід використання систем продуктопідведення показує, що об'єкт має різні динамічні характеристики в залежності від положення штока клапана. Зокрема, чутливість теплоносія з керуванням дво- і триходового клапана в зоні їх закривання при  $h = [0.1-0.3]$  значно вище, ніж в зоні відкривання - для  $h = [0.7-0.9]$ .

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

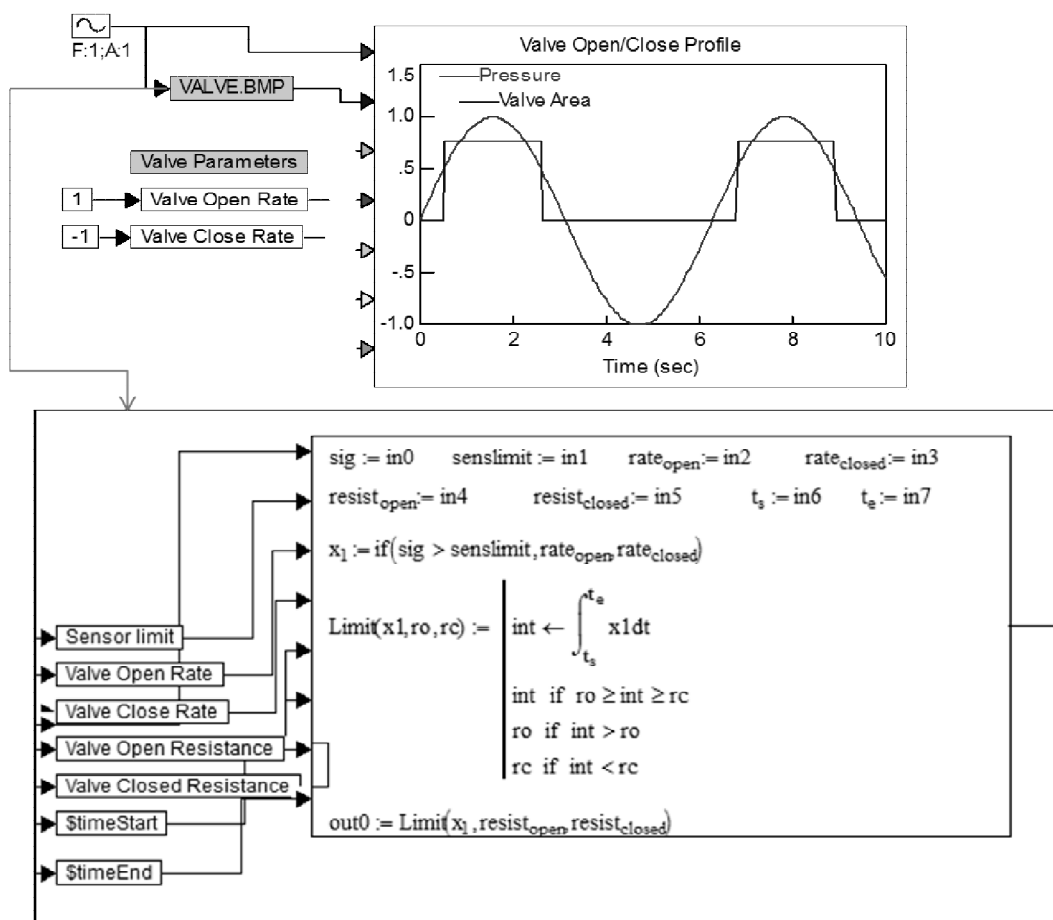


Рис. 2 – Блок-схема імітації сигналу керування на електромеханічний клапан в ПП .VisSim

Отже, при складанні математичної моделі необхідно врахувати нелінійний характер залежності  $g(h)$ . Для опису гідравлічної моделі вузла змішування використовуємо електричну схему еквівалентного заміщення (рис. 1). Еквівалентом потоку теплоносія є електричний струм, а еквівалентом тиску в трубопроводі - напруга. На основі закону Кірхгофа запишемо гідравлічну модель вузла змішування:

$$\begin{cases} P_i = (R_i + R_{k21}(h) + R_{k31}(h)) \cdot q_i - R_{k31}(h) \cdot q_k \\ P_i = -R_{k21}(h) \cdot q_i + (R_i + R_{k31}(h)) \cdot q_k \end{cases}; \quad (3)$$

$$R_{k21} = \frac{(P_i - R_i \cdot q_i - R_{k31}(q_i, q_k, h) \cdot (q_i - q_k))}{f_{kvs}(P_i - R_i \cdot q_i - R_{k31}(q_i, q_k, h) \cdot (q_i - q_k)) \cdot f_{21}(h)}; \quad (4)$$

$$R_{k31}(q_i, q_k, h) = \begin{cases} R_{leak} \text{ якщо } (q_i > q_k) \\ \frac{(f_{ns}(q_k) - R_k \cdot q_k)}{f_{kvs}(F_{ns}(q_k) - R_k \cdot q_k) \cdot f_{31}(h)} \end{cases}; \quad (5)$$

$R_{leak}$  - опір закритого зворотнього клапана.  $P_n(q_k), f_{kvs}(h), f_{31}(h), f_{21}(h)$  визначені графічним чином з характеристик обладнання. Приймаючи значення  $h$ , можна вирішити систему рівнянь (3) щодо  $q(h)$  і обчислити коефіцієнт змішування за формулою:

$$g(h) = q_i(h) / q_k(h). \quad (4)$$

Відзначимо, що еквівалентну схему заміщення можна застосувати для всіх розглянутих типів включення клапана, яка буде відрізнятися тільки опором  $R_{k31}$ .

$$R_k = \frac{P_s - P_0}{Q_n(P_2 - P_0)}; \quad (5)$$

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

можна отримати з параметрів, доступних для вимірювання тиску на об'єкті управління  $P_s$ ,  $P_o$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ , відповідних до каталога виробника трубопровідної арматури, де  $Q_p$  визначається графічно з параметрів насоса. Значення  $P_i$ ,  $R_i$  можна отримати, вирішивши систему двох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} P_i = q_{io} \cdot R_i + (P_{1o} - P_{2o}), \\ P_i = q_{ic} \cdot R_i + (P_{1c} - P_{2c}), \end{cases} \quad (6)$$

складених на підставі експериментальних досліджень при відкритому і закритому клапані. Значення витрат ( $q_{io}$ ,  $q_{ic}$ ) і перепаду тиску ( $P_{1c}$ ,  $P_{2c}$ ,  $P_{1o}$ ,  $P_{2o}$ ) також доступні для вимірювання на лічильниках тепла.

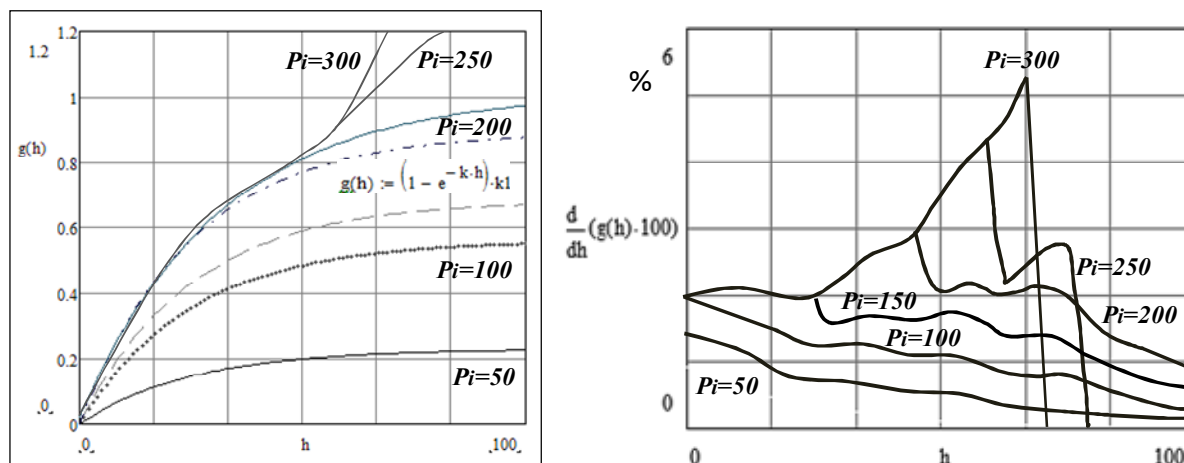


Рис. 3 – Результати вирішення системи нелінійних рівнянь

**Висновки.** Значний внутрішній опір джерела обумовлюється наявністю навмисно встановлених звуваючих пристроїв і балансування вентилем на кожному об'єкті споживання в центральних технологічних ділянках, які доповнюють внутрішньому опору джерела. Після того як всі необхідні дані підготовлені, вирішується система нелінійних рівнянь (3). Результати вирішення наведені на рис.3, де правий малюнок представляє характеристику похідної коефіцієнта змішування за значенням положення штока (ЗРТА), і обумовлюється чутливістю системи до зміни положення штока. Як видно із малюнка, це значення змінюється більш ніж в три рази, в залежності від положення штока, що відповідає зміні коефіцієнта передачі в замкнутому ланцюзі системи управління в таких же межах.

Отримані результати досліджень планується використати в розробці алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованих систем трубопровідної арматури для цукрового виробництва, створення нових цифрових систем управління виконавчим обладнанням, застосування отриманих теоретичних результатів в задачах побудови оптимальних регуляторів на основі програмно-логічних контролерів.

### Література

1. Громов Ю.Ю. Системы автоматического управления с запаздыванием / Ю.Ю. Громов [и др.]. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.
2. Деревитский Д.П. Прикладная теория дискретных автоматических систем управления / Д.П. Деревитский. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
3. Регулирующая арматура: управление параметрами различных сред/ каталог [электронный ресурс]. Режим доступа: [www.adl.ru](http://www.adl.ru)

### References

1. Gromov Yu.Yu. (2007), *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya s zapazdyvaniem* [Systems of automatic control with delay], Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, Tambov, Russia
2. Derevitskiy, D.P. (1981), *Prikladnaya teoriya diskretnykh avtomaticheskikh sistem upravleniya* [Applied theory of discrete automatic control systems], Nauka, Moscow, Russia
3. *Reguliruyushchaya armatura: upravlenie parametrami razlichnykh sred, katalog* [Controlling fittings: different mediums parameters control], Available at: [www.adl.ru](http://www.adl.ru)