

**Усунення інтегрального насичення в САР з ПД-регуляторами****Д.О. Кроніковський***Національний університет харчових технологій*

Досить часто в моделях САР допускається умова реверсу управління, що рідко є прийнятним у виробництві, адже не можна відкрити клапан у від'ємну сторону, і тим самим перенаправити потік, або ж увімкнути охолодження при нагріві парою. Саме така відірваність моделей і реального виробництва часто призводить до невідповідності змодельованих та реальних процесів.

ПД-регулятори успішно застосовуються для вирішення широкого кола завдань керування технологічними процесами харчової промисловості. Однак, ефективність їх використання може значно зменшуватися, якщо на вихідний сигнал регулятора накладаються обмеження. При цьому може виникати ефект "інтегрального насичення", що значно знижує якість регулювання.

Інтегральне насичення виникає в лінійних ПД (П) регуляторах при виході керуючого сигналу за межі лінійної зони. У сталому режимі роботи й при малих збуреннях більшість систем з ПД-регуляторами є лінійними. Однак процес виходу на режим практично завжди вимагає врахування нелінійності типу «обмеження». Ця нелінійність пов'язана із природними обмеженнями на потужність, швидкість, частоту обертання, кут повороту, площу поперечного перерізу клапана, динамічний діапазон і т.д.

Суть проблеми інтегрального насичення полягає в тому, що якщо сигнал на вході об'єкта керування  $u(t)$  увійшов у зону насичення (обмеження), а сигнал розузгодження  $r(t) - y(t)$  не дорівнює нулю, інтегратор продовжує інтегрувати, тобто сигнал на його виході росте, але цей сигнал не бере участь у процесі регулювання та не впливає на об'єкт внаслідок ефекту насичення. Система керування в цьому випадку стає еквівалентна розімкнутій системі, сигнал на вході якої дорівнює рівню насичення керуючого сигналу  $u(t)$ .

В аналогових регуляторах його усунення було досить складним, оскільки в них проблема не могла бути вирішена алгоритмічно, а вирішувалася тільки апаратними засобами. З появою мікропроцесорів проблему вдається вирішити набагато ефективніше.

Методи усунення інтегрального насичення є актуальними питаннями для науковців і на сьогодні. Серед найрозповсюдженіших варто відмітити [1]:

- обмеження швидкості наростання вхідного впливу;
- алгоритмічна заборона інтегрування;
- компенсація насичення за допомогою додаткового зворотного зв'язку;
- умовне інтегрування.

Досить простим в реалізації є метод обмеження швидкості наростання вхідного впливу. Оскільки максимальне значення вхідного впливу на об'єкт керування  $u(t)$  знижується зі зменшенням різниці  $r(t) - y(t)$ , то для усунення ефекту обмеження можна просто знизити швидкість наростання сигналу уставки  $r(t)$ , наприклад, за допомогою фільтра. Недоліком такого способу є

зниження швидкодії системи, а також неможливість усунення інтегрального насичення, що викликане зовнішніми збуреннями.

Ще одним методом є алгоритмічна заборона інтегрування. Коли керуючий вплив на об'єкт досягає насичення, зворотний зв'язок розривається й інтегральна складова продовжує рости, навіть якщо при відсутності насичення вона повинна була б спадати. Тому один з методів усунення інтегрального насичення полягає в тому, що контролер стежить за величиною керуючого впливу на об'єкт і, як тільки вона досягає насичення, контролер вводить програмну заборону інтегрування для інтегральної складової.

Щодо методу умовного інтегрування, то він є узагальненням алгоритмічної заборони інтегрування. Після запровадження заборони інтегральна складова залишається постійною на тому ж рівні, що вона мала в момент появи заборони інтегрування. Узагальнення полягає в тому, що заборона інтегрування настає не тільки при досягненні насичення, але й при деяких інших умовах.

Для типових об'єктів харчової промисловості запропоновано варіант нівелювання ефекту інтегрального насичення, що включає реалізацію додаткового зворотного зв'язку. Компенсація насичення за допомогою додаткового зворотного зв'язку полягає в тому, що ефект інтегрального насичення можна послабити, відслідковуючи стан виконавчого пристрою, що входить у насичення, і компенсуючи сигнал, що подається на вхід інтегратора.

Проведений аналіз впливу інтегрального насичення на якість процесу регулювання виявив значний вплив у вигляді затягування часу регулювання. В ході дослідження для типових об'єктів харчової промисловості було обрано метод усунення інтегрального насичення, що реалізований як позитивний зворотній зв'язок. Результати свідчать про те, що інтегральне насичення було повністю скомпенсоване, а системи автоматизації залишилися прийнятними за швидкістю при наявному обмеженні на управління.

#### Література

1. Astrom K.J. Advanced PID control:5th.ed. — ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society).- 2014. - 662p.
2. Волюева О.С. Компенсация эффекта интегрального насыщения регулятора в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ/ О.С. Волюева // Наукові праці ДонНТУ. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація.- 2013.-№2 (25).-с.13-20.
3. Ковриго Ю.М. Математическое моделирование систем автоматического регулирования с учетом ограничений на управление в пакете Matlab/ Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Полищук И.А.// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - 2007. - №2. -С.21-28.
4. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6. Основы применения / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 806 с.
5. Manabe S. The Non-Integer Integral and its Application to Control System/ S.Manabe //ETJ of Japan, vol. 6. no. 3.-1961. pp. 93-97.
6. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В.В.Денисенко // СТА.-2006.-№4.-с.66-74.