

© Г.Н. Семенцов
д-р техн. наук
А.І. Лагойда
ІФНТУНГ

Застосування багатопараметричних регуляторів для підвищення швидкодії системи автоматичного антипомпажного регулювання газоперекачувального агрегату

УДК 681.513.52:622.691.4

Проведено аналіз функції передачі відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату (ВН ГПА). Наведено методику визначення параметрів налаштування ПІД- та ПІДД2-регулятора через параметри функції передачі об'єкта. На основі обрахованих значень у програмному продукті Matlab проведено моделювання технологічного процесу з ПІД-, ПІДД2-, ПІДД2Д3-, ПІДД2-, ПІДПД-регуляторами та визначено їх оптимальні параметри налаштування, що забезпечить максимальну швидкодію системи антипомпажного регулювання.

Ключові слова: відцентровий нагнітач, регулятор, налаштування, функція передачі, швидкодія.

Проведен анализ функции передачи центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата (ЦН ГПА). Приведена методика определения параметров настройки ПИД- и ПИДД2-регулятора через параметры функции передачи объекта. На основе рассчитанных значений в программном продукте Matlab проведено моделирование технологического процесса с ПИД-, ПИДД2-, ПИДД2Д3-, ПИДД2-, ПИДПД-регуляторами и определены их оптимальные параметры настройки, что обеспечит максимальное быстродействие системы антипомпажного регулирования.

Ключевые слова: центробежный нагнетатель, регулятор, настройка, функция передачи, быстродействие.

The analysis of the transfer function of the centrifugal blower gas compressor unit. The technique of determining the settings of the PID controller and PIDD2 transfer function of the parameters of the object. On the basis of the values shortchanged in Matlab software product is used to simulate the process of PID-, PIDD2-, PIDD2D3-, PIDD2-, PDPD-regulators and determine their optimal settings that will provide the best performance surge control.

Key words: centrifugal compressor, regulator, setting the transfer function, performance.

На дотискувальних компресорних станціях ДК «Українгаз», особливо тих, що працюють на підземних сховищах газу, актуальною є проблема захисту газоперекачувальних агрегатів від помпажу. Для уникнення цього явища необхідне удосконалення існуючих методів та розроблення нових підходів до антипомпажного регулювання газоперекачувального агрегату. Проте аналіз літературних джерел показує недостатній об'єм досліджень у напрямку підвищення швидкодії систем автоматичного керування ГПА. Тому метою цієї роботи є розробка багатопараметричного регулятора для підвищення швидкодії системи автоматичного антипомпажного регулювання ГПА.

Відомо, що у промислових автоматичних системах регулювання, як правило, рекомендується застосовувати типовий ПІД-регулятор, але коли динамічної точності регулювання з ПІД-регулятором стає недостатньо, звичайно, йдуть на ускладнення інформаційної структури, прикладом чого можуть служити каскадні системи автоматичного регулювання [1, 2].

Оптимальний синтез автоматичної системи регулювання (АСР) прийнято проводити за динамічними характеристиками об'єкта регулювання, представленого, як правило, у вигляді функції передачі $W(s)$, отриманих шляхом адекватної апроксимації експериментальних кривих розгону. При цьому структуру $W(s)$ представляють у вигляді функції передачі $W_0(s)$ і ланки запізнення [3–5]:

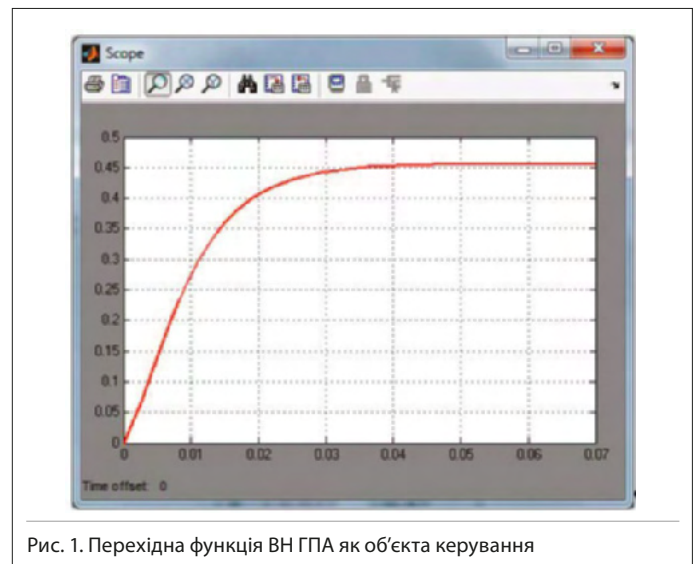
$$W(s) = W_0(s)e^{-\tau s}, \quad (1)$$

де τ – час запізнення.

Першу частину представимо у вигляді ланцюжка з n послідовно включених аперіодичних ланок зі сталими часами T_1, T_2, \dots, T_n :

$$W_0(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1) \cdots (T_ns + 1)}, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт передачі.



Таблиця 1

Визначення параметрів налаштування регулятора через параметри функції передачі об'єкта керування

Параметри налаштування	$W(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1) \dots (T_ns+1)} e^{-\tau s}$	
	$n=2$ ПІД-алгоритм	$n=3$ ПІДД2-алгоритм
K_p	$\frac{T_1+T_2}{K\tau_2}$	$\frac{T_1+T_2+T_3}{K\tau_3}$
K_i	$\frac{1}{K\tau_2}$	$\frac{1}{K\tau_3}$
K_{d1}	$\frac{T_1T_2}{K\tau_2}$	$\frac{T_1T_2+T_1T_3+T_2T_3}{K\tau_3}$
K_{d2}	–	$\frac{T_1T_2T_3}{K\tau_3}$

Таблиця 2

Параметри досліджуваних регуляторів

Параметри налаштування	$n=2$ ПІД-алгоритм	$n=3$ ПІДД2-алгоритм
K_p	6,72	6,6632
K_i	666,67	666,67
K_{d1}	0,0083	0,0097
K_{d2}	–	$6,748 \cdot 10^{-10}$

Із урахуванням системного підходу до розв'язання задачі оптимального синтезу АСР порядок знаменника у формулі (2) визначається, з одного боку, з умови адекватності апроксимуючої функції передачі, з іншого боку, отримана в такий спосіб структура буде визначати функцію передачі оптимального регулятора:

де K_p, K_{d1}, K_{d2} – параметри налаштування регулятора.

Неважко помітити, що для функції $W_0(s)$ при $n = 2$ оптимальним буде ПІД-алгоритм, при $n = 3$ ПІДД2-алгоритм і т.д. При цьому чисельні значення параметрів налаштування досить легко можуть бути виражені через параметри функції передачі об'єкта (табл. 1) [3–5].

Розглянемо це питання на прикладі системи автоматичного антипомпажного регулювання газоперекачувального агрегату. Досліджувана функція передачі відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату (ВН ГПА) має такий вигляд [6]:

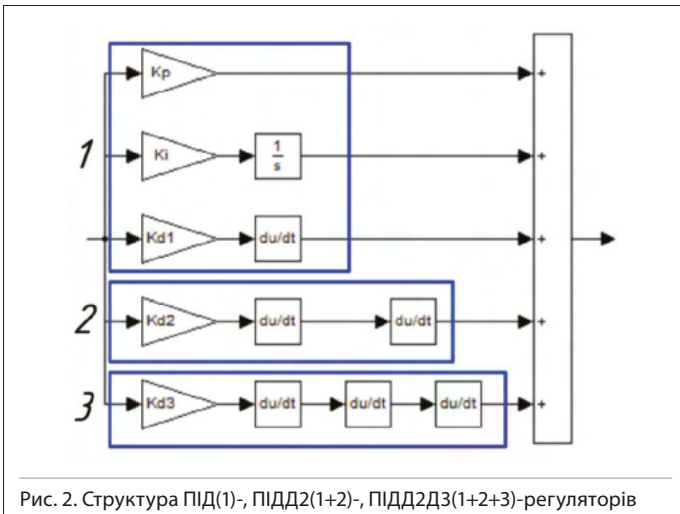


Рис. 2. Структура ПІД(1)-, ПІДД2(1+2)-, ПІДД2Д3(1+2+3)-регуляторів

Таблиця 3

Показники якості перехідних процесів

Тип регулятора	Показники якості перехідного процесу	
	час розгону, с	перерегулювання, %
ПІД	0,0438	0
ПІДД2	0,0423	0

Таблиця 4

Параметри налаштування регуляторів після оптимізації

Регулятор	Параметри налаштування				
	K_p	K_i	K_{d1}	K_{d2}	K_{d3}
ПІД	29,7958	867,4924	0,0579	–	–
ПІДД2	29,7958	830	0,0579	$9,7480e-010$	–
ПІДД2Д3	33,3	950	0,0528	$5,9480e-009$	$3,7480e-022$

Таблиця 5

Показники якості перехідних процесів

Тип регулятора	Показники якості перехідного процесу	
	час розгону, с	перерегулювання, %
ПІД	0,01125	0
ПІДД2	0,01075	0
ПІДД2Д3	0,0087	0

$$W(s) = \frac{7,688 \cdot 10^{-4} s + 0,619}{4,099 \cdot 10^{-5} s^2 + 1,526 \cdot 10^{-2} s + 1,358} \quad (4)$$

Користуючись програмним продуктом Matlab, побудуємо перехідну функцію ВН ГПА (рис. 1):

```
>> num=[7,688e-4 0,619];
>> dem=[4,099e-5 0,01526 1,358];
>> W=tf(num,dem)
Transfer function:
0,0007688 s+0,619
```

```
-----
4,099e-005 s^2+0,01526 s,358
>> step(W)
```

Провівши апроксимацію цієї перехідної функції і використавши дані табл. 1, визначимо параметри налаштування ПІД- і ПІДД2-регулятора (табл. 2). У результаті побудови перехідної функції з відповідними регуляторами

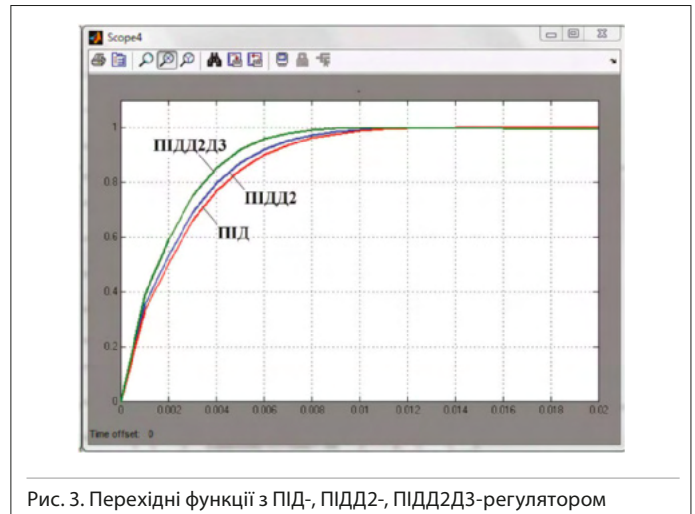
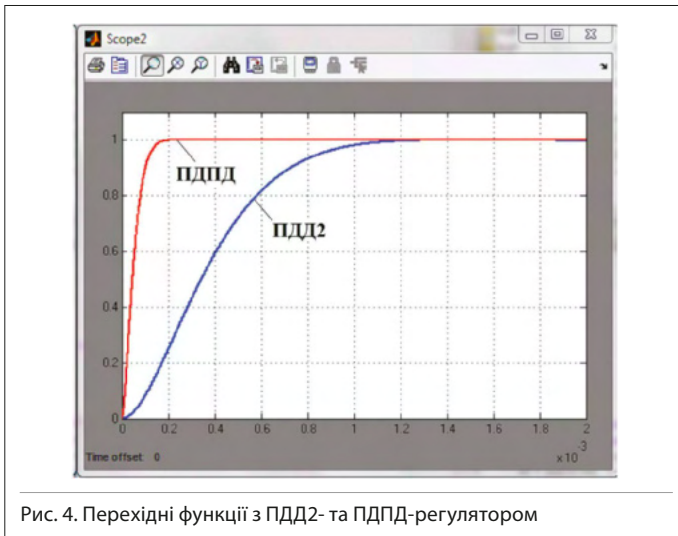


Рис. 3. Перехідні функції з ПІД-, ПІДД2-, ПІДД2Д3-регулятором



Таблиця 6

Параметри налаштування регуляторів після оптимізації

Регулятор	Параметри налаштування			
	K_{p1}	K_{p2}	K_{d1}	K_{d2}
ПДД2	1,0324e+003	–	0,3311	6,5990e-006
ПДПД	478	250	0,0065	0,0100

Таблиця 7

Показники якості перехідного процесу

Тип регулятора	Показники якості перехідного процесу	
	час розгону, с	перерегулювання, %
ПДД2	0,0012	0
ПДПД	0,0002	0

отримано показники якості перехідного процесу, що наведено у табл. 3.

Отримані в такий спосіб регулятори одразу не можуть бути прийняті до практичного застосування, але знання алгоритмів їх функціонування допоможе оцінити граничні можливості керування об'єктом і сформулювати відповідні рекомендації.

Для уточнення обчислених значень скористаємося програмним продуктом Matlab, зокрема середовищем Simulink. Було створено регулятори (ПД, ПДД2, ПДД2Д3), загальну структуру яких наведено на рис. 2.

Для знаходження оптимальних параметрів налаштування регуляторів було використано елемент блока оптимізації Signal Constraint - Check Step Response Characteristics, який знаходиться у бібліотеці Simulink. Результати моделювання перехідних процесів із відповідними регуляторами наведено на рис. 3 та у табл. 4 та 5.

Як відомо, швидкодія системи буде найбільшою тоді, коли функція передачі регулятора буде оберненою до функції передачі об'єкта. Отже, функція передачі ідеального регулятора матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{4,099 \cdot 10^{-5} s^2 + 1,526 \cdot 10^{-2} s + 1,358}{7,688 \cdot 10^{-4} s + 0,619} \quad (5)$$

На основі передавальної функції 5 розроблено ПДД2-регулятор та ПДПД-регулятор із двома ПД-регуляторами, сполученими послідовно. Результати моделювання перехідних процесів із відповідними регуляторами наведено на рис. 4 та у табл. 6 та 7.

Висновок

Отже, у результаті проведених досліджень отримано метод, який значно підвищив швидкодію досліджуваної системи за рахунок зміни структури регулятора.

Список літератури

1. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления / В.Я. Ротач. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 358 с.
2. **Ротач В.Я.** Расчет настройки реальных ПИД регуляторов / В.Я. Ротач // Теплоэнергетика. – 1993. – № 10. – С. 31–35.
3. **Кроніковський Д.О.** Застосування багатопараметричних регуляторів для складних технологічних об'єктів / Д.О. Кроніковський, А.П. Ладанюк // Харчова промисловість. – 2009. – № 8. – С. 104–109.
4. **Смирнов Н.И.** Оптимизация одноконтурных АСУ с многопараметрическими регуляторами / Н.И. Смирнов, В.Р. Сабанин, А.И. Репин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 7. – С. 71–77.
5. **Смирнов Н.И.** Робастные многопараметрические регуляторы для объектов с транспортным запаздыванием / Н.И. Смирнов, В.Р. Сабанин, А.И. Репин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 7. – С. 82–86.
6. **Лагойда А.І.** Аналіз динамічних властивостей відцентрового нагнітача ГПА з газотурбінним приводом як об'єкта керування / А.І. Лагойда, Ю.Є. Бляут, Є.М. Лесів, Г.Н. Семенцов // Нафтогазова енергетика. – 2012. – №2 (18). – С. 72–85.

Автори статті



Семенцов Георгій Никифорович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів та моніторингу в екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Закінчив Північно-Кавказький гірничо-металургійний інститут (м. Владикавказ). За фахом – гірничий інженер-електромеханік. Основний напрям наукових досліджень: автоматизоване управління технологічними процесами на основі методів нечіткої логіки і штучних нейронних мереж.

Лагойда Андрій Іванович

Аспірант кафедри автоматизації технологічних процесів та моніторингу в екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. За фахом – інженер з автоматизації, спеціальність: автоматизоване управління технологічними процесами. Основний напрям наукових досліджень: антипомпажне керування газоперекачувальним агрегатом.

