

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-11-75-143>

УДК 62-503.57

Дудник С.О., Поліщук І.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ЗМІННОЇ СТРУКТУРИ З ГАРМОНІЧНИМИ ЗБУРЕННЯМИ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація. Досліджено особливості та проблематика регулювання вхідних параметрів бойлерної станції сміттєспалювального заводу. Досліджено способи регулювання тиску на вході бойлерної станції. Досліджено основні проблеми регулювання тиском на вході бойлерної станції. Досліджено методи регулювання об'єктом з гармонічними збуреннями. Розроблена система автоматичного регулювання тиском на вході бойлерної станції. Досліджена робота регулятора змінної структури для регулювання системою в умовах гармонічних збурень. Проаналізовані відмінності у роботі систем із традиційним ПІ – регулятором та регулятором змінної структури. Досліджена поведінка одноконтурних систем автоматичного регулювання тиском на вході бойлерної станції з ПІ – регулятором та регулятора змінної структури в умовах зміни параметрів об'єкту протягом його експлуатації.

Ключові слова: бойлерна станція, тиск, регулятор змінної структури (РЗС).

Dudnyk Serhii, Polishchuk Ihor

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

APPLICATION OF A REGULATOR OF VARIABLE STRUCTURE WITH HARMONICAL PERTURBATIONS

Summary. The peculiarities and problems of regulation of the incoming parameters of the boiler station of the incineration plant are investigated. The methods of regulating the pressure at the inlet of the boiler station are investigated. The main problems of pressure regulation at the inlet of the boiler station are investigated. Methods of harmonic disturbance control are investigated. For the first time, a mathematical model of an object of regulation was obtained by conducting several experiments within the permitted technological limits. A system of automatic pressure control at the inlet of the boiler station has been developed. The work of the float structure regulator for system regulation under conditions of harmonic perturbations is investigated. Differences in the work of systems with traditional PI controller and float structure controller are analyzed. The behavior of single-circuit automatic pressure control systems at the inlet of a boiler station with a PI controller and a float structure controller under conditions of changing the parameters of the object during its operation is investigated. The main purpose of this work is to develop a float structure controller that can partially or completely solve the problem of regulating systems with perturbations similar to sine waves. The dissertation is aimed at solving these problems and takes into account all the features of the technological process of the object under consideration. The main task is to reduce the amplitude of oscillations at the input of the system in order to obtain a mode close to stationary. This is due to the fact that the objects in the system are steam and water-water heat exchangers, which are rather inertial objects. For reasons of safe operation of such equipment, it is necessary to ensure constant values of the input parameters (temperature and steam pressure at the inlet of the system). Significant deviations from these parameters can lead to water hammer strikes, an unbalance of the whole system and an expensive control system. In this article, object identification methods, statistical analysis methods, dynamic modeling methods, and modern control theory have been applied.

Keywords: boiler station, pressure, float structure regulator (FSR).

Постановка проблеми. Найбільш екологічним засобом утилізації відходів на сьогоднішній день є сміттєспалювальні заводи. Але з точки зору теплоенергетики, вони є складними технологічними об'єктами. До основних проблем слід віднести непостійність параметрів пари та води, складний хімічний процес перетворення сміття на паливо та відсутність номінального режиму роботи.

Звичайні ПІ – та ПІД – регулятори знижують ефективність системи через наявність ряду принципових недоліків. Це призводить до збільшення витрат палива та збільшення амплітуди коливань температури, що зменшує ресурс елементів технологічного об'єкту. Через це оператори бойлерної станції сміттєспалювального заводу виконують керування у ручному режимі. Тому використання сучасних законів регулювання, що забезпечують якісне регулювання в різних режимах є актуальною темою дослідження.

Головною проблемою для нормальної роботи бойлерної станції є постійні перепади тиску пари на вході до системи. Ці збурення носять гармонічний характер і наближені до синусоїди з амплітудою 100-250 кПа та періодом, який напряму залежить від швидкості згоряння порції сміття в котельному цеху. Ці коливання виходять за технологічні межі у 100-150 кПа.

Необхідна якість регулювання залежить від налаштувань регулятора, але в більшості випадків регулятори не повністю виконують поставлені задачі при змінах режиму роботи об'єкту регулювання.

Головні небезпеки полягають у вирівнюванні тиску в пароводяних теплообмінниках та великій амплітуді коливань температури на водо-водяних теплообмінниках, через їх велику інерційність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації [1], перепади тиску на вході системи викликають великі амплітуди перерегулювання

при експлуатації пароводяних та водо-водяних теплообмінників. Автор представив свої дослідження водо-водяного теплообмінника з урахуванням зміни тиску на вході системи. Для регулювання температури автором була розроблена складна система адаптивного регулювання.

Згідно з публікацією [2], були виділені і дослідженні декілька методів синтезу регулятора змінної структури, в наслідок чого, було синтезовано регулятор змінної структури з універсальною логікою перемикавання.

В ході останніх досліджень, на представленому типі, об'єктів було виявлено суттєві деформації більшої частини теплообмінників, що викликані перепадами тиску та гідроударами.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз перехідних процесів при застосуванні різних схем регулювання із неперервними традиційними регуляторами показав, що якість САР незадовільна, а саме амплітуда коливань, що виникають в системі перевищують дозволіні межі ($\pm 10\%$) на 50-80 кПа.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка регулятора змінної структури, що здатен частково чи повністю вирішити проблему регулювання систем із збуреннями, що є подібними до синусоїди. Дисертаційна робота, спрямована на вирішення зазначеної проблематики та враховує всі особливості технологічного процесу розглянутого об'єкта. Основною задачею є зниження амплітуди коливань на вході системи з метою отримання режиму, наближеного до стаціонарного. Це обумовлено тим, що об'єктами у системі є пароводяні та водо-водяні теплообмінники, які є досить інерційними об'єктами. З міркувань безпечної експлуатації такого обладнання необхідно забезпечити сталі значення вхідних параметрів (температури та тиску пари на вході системи). Суттєві відхилення цих параметрів можуть призвести до гідроударів, розбалансу всієї системи та достатньо складної системи регулювання, варіант якої представлений в публікації [1].

Вирішення розглянутих проблем є актуальним з точки зору безпеки експлуатації обладнання, мінімізації економічних ризиків та енергоефективності.

Виклад основного матеріалу. З метою покращення якості регулювання тиску на вході системи запропоновано використати регулятор змінної структури (РЗС). Спочатку необхідно визначити передаточну функцію об'єкта та його збурення.

Для опису збурення був проведений експеримент, який полягав у відслідковуванні змін тиску з періодом 10 с. Графік отриманої кривої представлений на рис. 1.

В ході дослідження системи автоматичного регулювання тиску пари на вході до системи експериментальним шляхом була отримана розгінна характеристика. Для чистоти експерименту було вирішено подавати однорідне відсортоване сміття однаковими порціями з метою максимального зменшити вплив збурення. Отримана розгінна характеристика представлена на рис. 2.

З отриманої розгінної характеристики методом апроксимації аперіодичною ланкою 2-го порядку була отримана передаточну функцію виду:

$$W(p) = \frac{K * \tau}{T_1 * T_2 * p^2 + (T_1 + T_2)p + 1}$$

де $K = 10$, $\tau = 15$, $T_1 = 10$, $T_2 = 40$.

Перехідна характеристика отриманого апроксимованого об'єкта представлена на рис. 3.

Для аналізу роботи системи застосовувались вбудовані засоби аналізу одноконтурної замкненої системи середовища MATLAB для розрахунку налаштувань ПІ – регулятора за обраною передаточною функцією. В якості завдання використовується ступінчасте збурення, а в якості зовнішнього збурення – сумою сигналу гармонічного коливання з амплітудою 0.2 та частотою 0.02 Гц та сигналу білого шуму з максимальною амплітудою 0.15. Отримана модель системи регулювання тиском пари представлена на рис.4. Регулятор має наступний вигляд:

$$W(p) = Kp \left(1 + Ti * \frac{1}{p} \right),$$

де $Kp = 0,065$, $Ti = 0,022$.

В ході аналізу отриманих результатів було виявлено, що застосування традиційного ПІ – регулятор має вагомні недоліки. Отримана перехідна характеристика представлена на рис. 5.

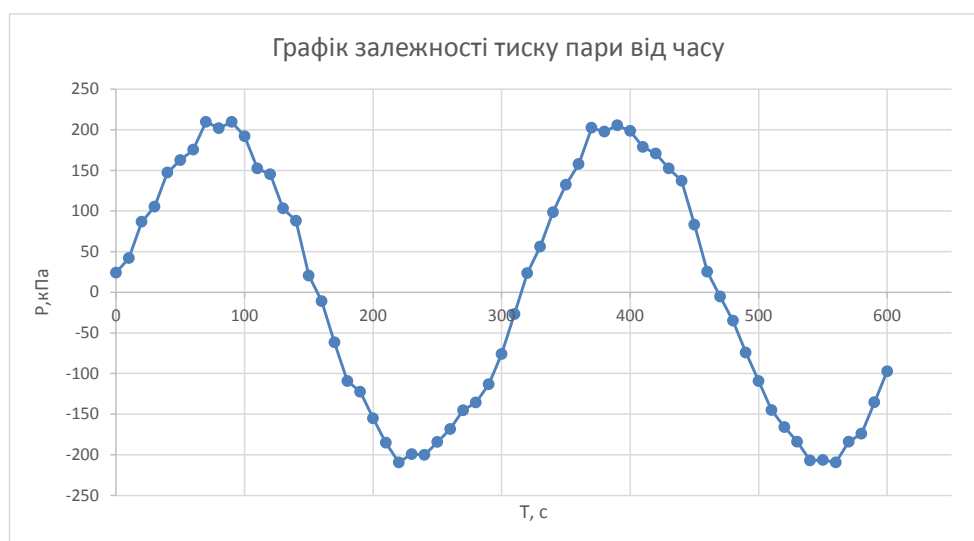


Рис. 1. Графік залежності тиску пари на вході системи від часу спалювання сміття (зовнішнє збурення)

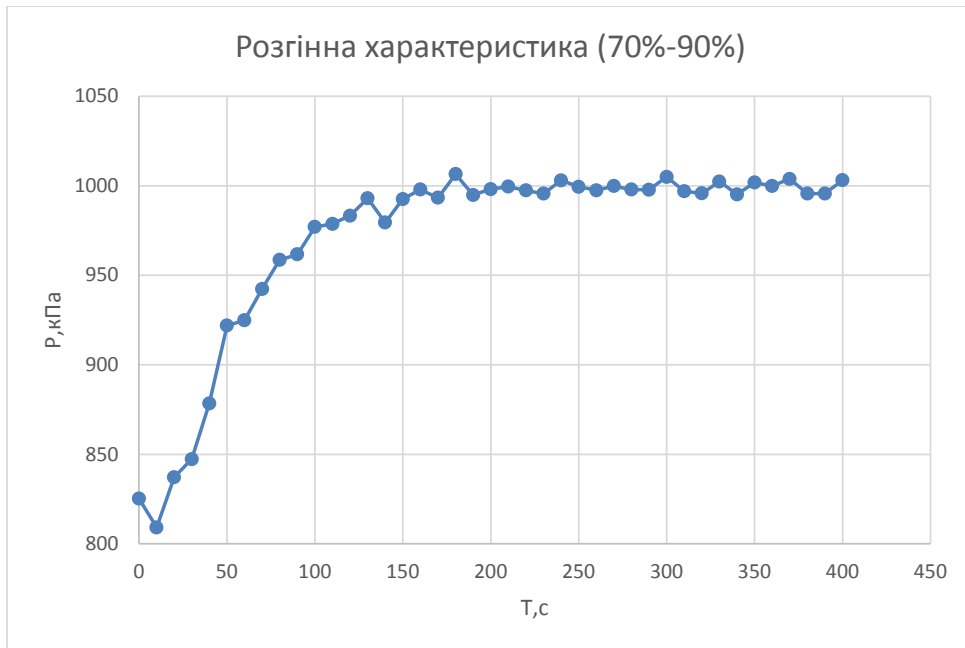


Рис. 2. Розгінна характеристика тиску пари на вході системи при мінімальному зовнішньому збуренні

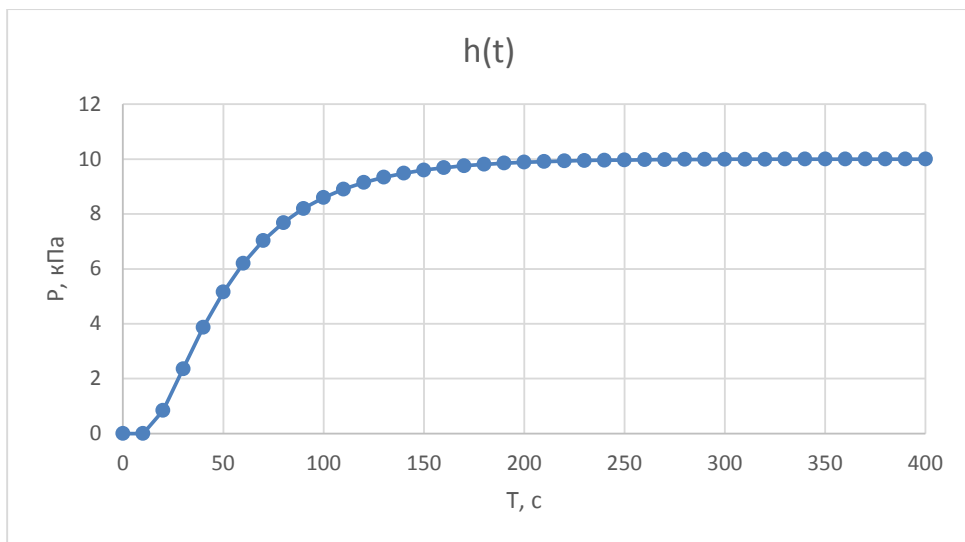


Рис. 3. Перехідна характеристика отриманого об'єкта регулювання

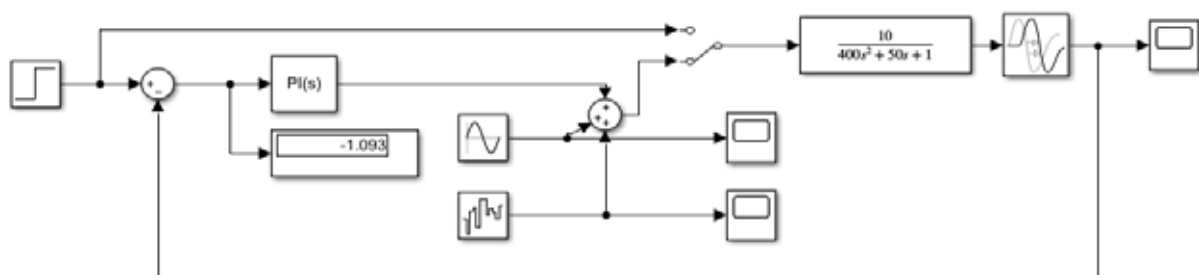


Рис. 4. Модель системи регулювання тиску з традиційним ПІ – регулятором

На рисунку 5 видно, що амплітуда коливань тиску є значною при застосуванні ПІ-регулятора, а отже представлене рішення є неефективним.

Для перевірки поведінки системи регулювання при зміні параметрів об'єкта, виконаємо ва-

ріювання K , T_1 та T_2 в межах $\pm 20\%$. Перехідні характеристики представлені на рис. 6-8.

Отриманні результати підтверджують незадовільну якість регулювання САР із ПІ-регулятором.

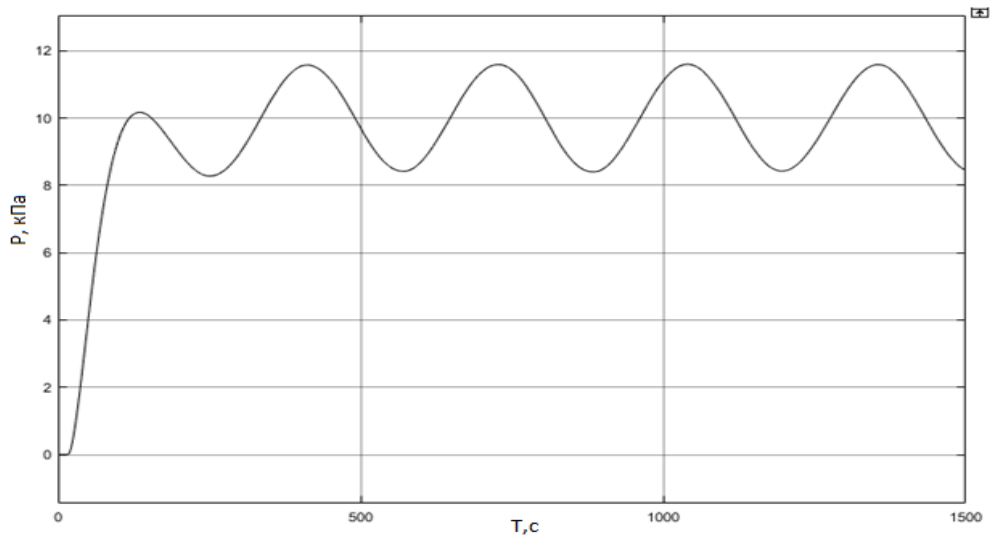


Рис. 5. Перехідна характеристика системи регулювання тиску за каналом завдання-вихід з ПІ-регулятором

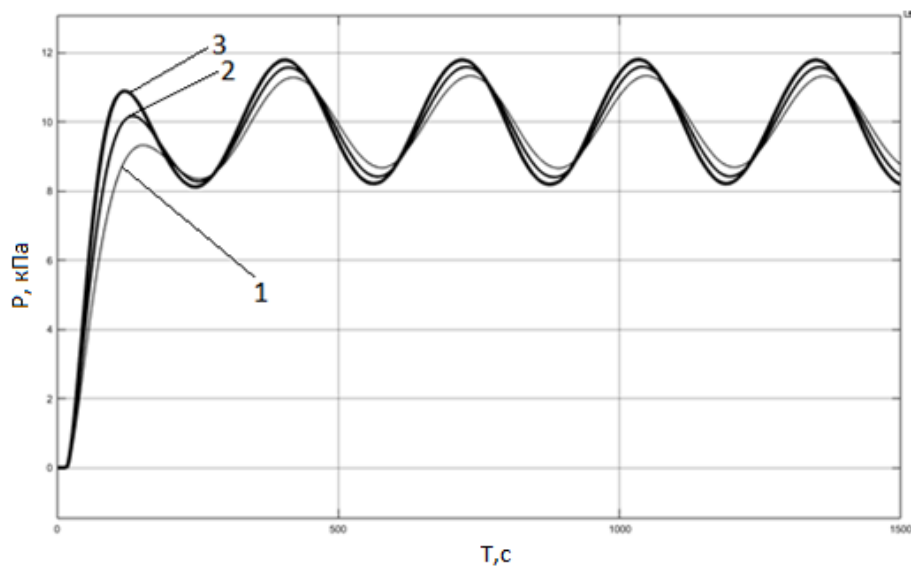


Рис. 6. Перехідні характеристики з ПІ-регулятором при варіюванні K (1- $K = 8$; 2 - $K = 10$, 3 - $K = 12$)

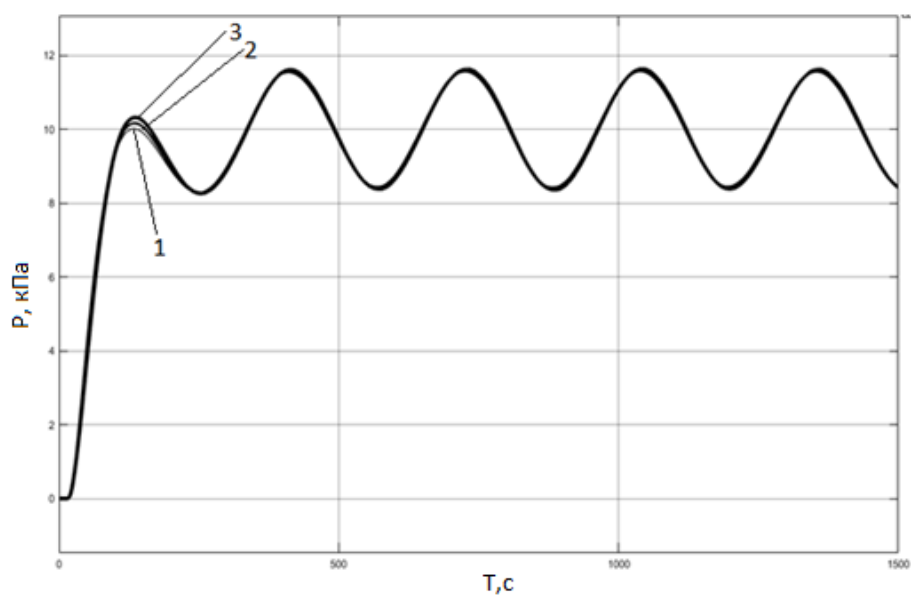


Рис. 7. Перехідні характеристики з ПІ-регулятором при варіюванні T_1 (1 - $T_1 = 8$; 2 - $T_1 = 10$; 3 - $T_1 = 12$)

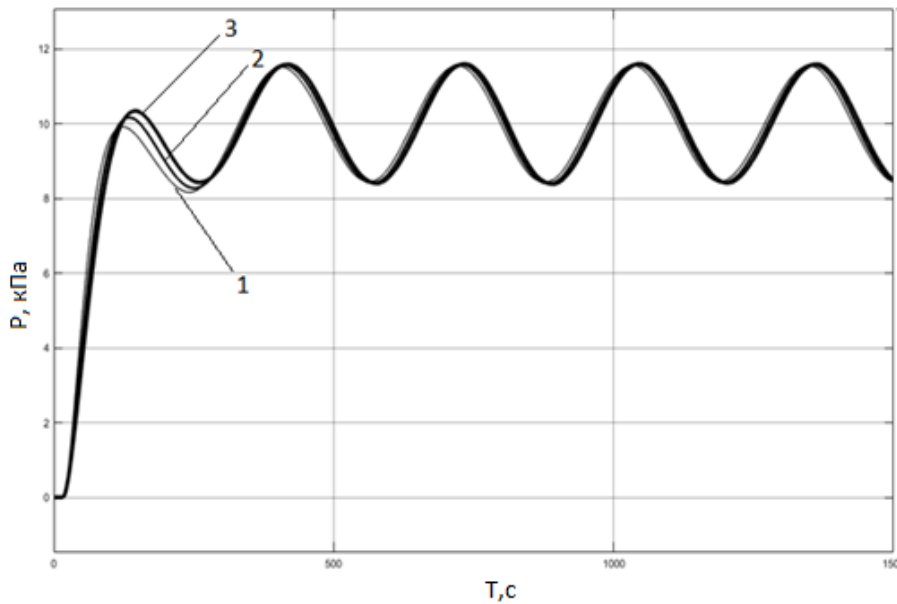


Рис. 8. Перехідні характеристики з ПІ-регулятором при варіюванні T_2 (1 – $T_2 = 32$; 2 – $T_2 = 40$; 3 – $T_2 = 48$)

Щоб використовувати РЗС необхідно розбити перехідну характеристику об'єкта на режими, що представлені в таблиці 1, де ΔD – границя переходу між режимами, ε – сигнал помилки.

но дослідження поведінки САР при варіюванні параметрів об'єкта в межах $\pm 20\%$, що представлені на рис. 11-13.

Таблиця 1
Логіка перемикання налаштувань регулятора

Регулятор режиму	Режим			
	$\varepsilon > \Delta D$	$\varepsilon < -\Delta D$	$\varepsilon < \Delta D$ $\varepsilon \geq 0$	$\varepsilon > -\Delta D$ $\varepsilon \leq 0$
1	True	False	False	False
2	False	True	False	False
3	False	False	True	False
4	False	False	False	True

Одноконтурна система із регулятором змінної структури представлена на рис. 9. Використовуючи емпіричний метод отримуємо достатньо точні налаштування контролерів, що представлені в таблиці 2. При змінній амплітуді коливань зовнішнього збурення налаштування регулятора залишаються незмінні, а все зводиться до коригування границі перемикання між режимами. У разі вагомій зміни параметрів об'єкта необхідно провести дослідження об'єкта і в разі необхідності частково або повністю налаштувати нові параметри регулятора.

В ході дослідження була отримана перехідна характеристика об'єкта із використанням РЗС, що представлена на рис. 10. Також було проведе-

Таблиця 2
Налаштування регулятора зі змінною структурою

Регулятор режиму	Налаштування	
	K_p	T_i
1	0.08	0.022
2	0.08	0.022
3	0.015	0.09
4	0.012	0.09

На рисунку 10 видно, що амплітуда коливань тиску є задовільною при застосуванні РЗС, а отже представлене рішення є ефективнішим за аналогічну САР із ПІ-регулятором.

Висновки і пропозиції. Застосування запропонованої САР з регулятором змінної структури дозволило якісно регулювати за умов збурень, що є наближеними до синусоїди. Експериментальні дослідження показали ефективність застосування в умовах варіювання параметрів об'єкта регулювання. Амплітуда коливань при застосуванні РЗС була зменшена до допустимих меж, а отже поставлена задача була виконана. РЗС може бути реалізований як фізично (при застосуванні декількох неперервних регуляторів з безударним перемиканням) або програмно на базі програмно-логічних контролерів.

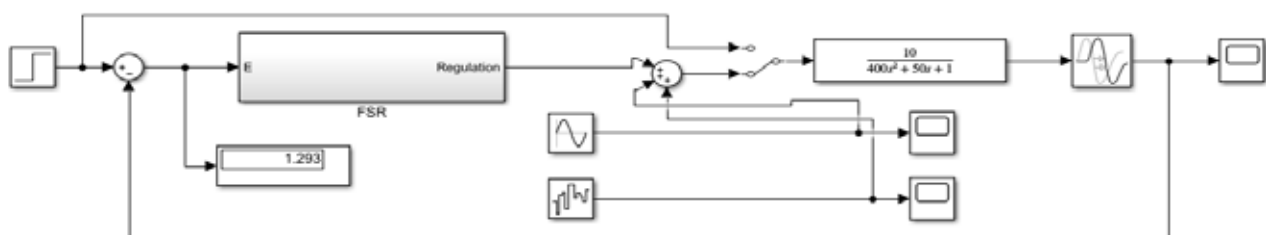


Рис. 9. Модель САР тиску на вході в систему із регулятором змінної структури (FSR)

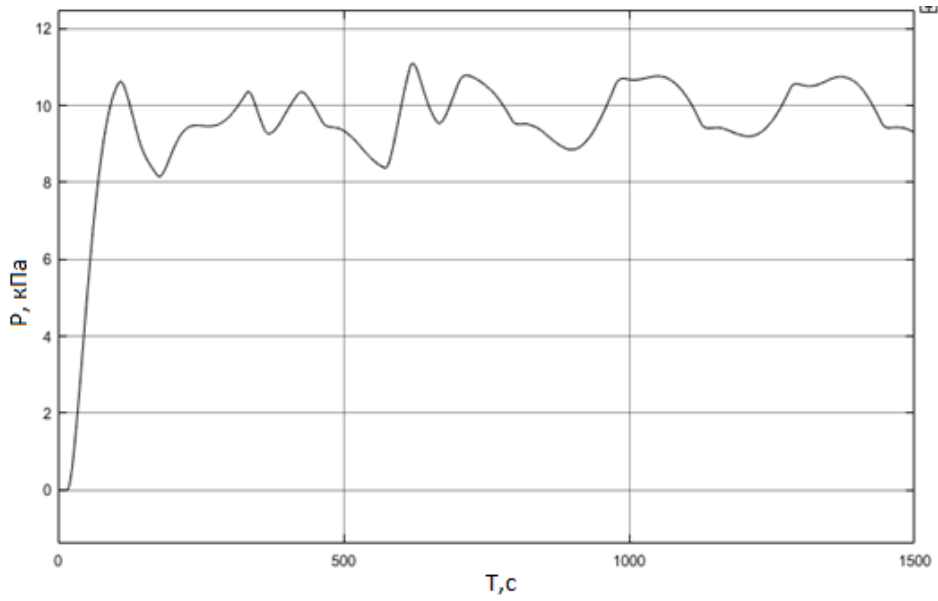


Рис. 10. Перехідна характеристика САР тиску на вході системи з РЗС

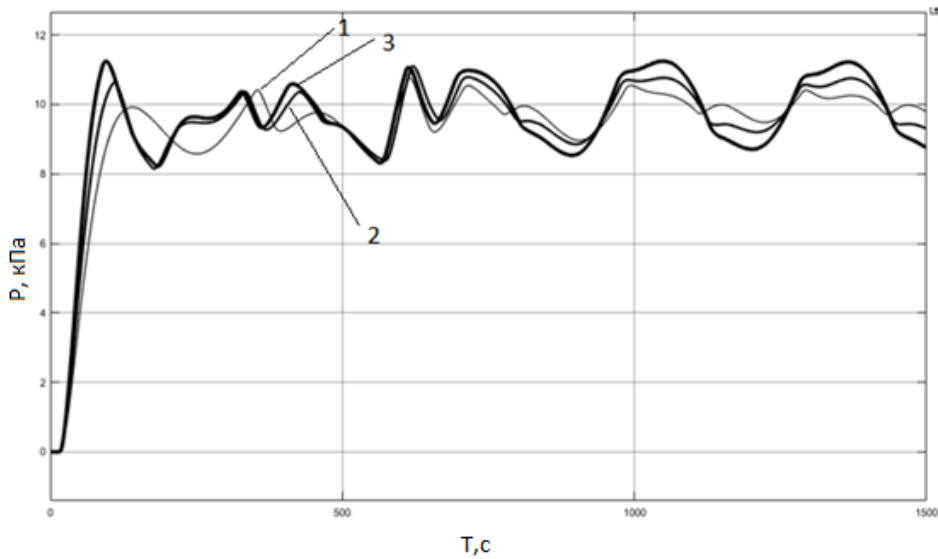


Рис. 11. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні К (1 – К = 8; 2 – К = 10, 3 – К = 12)

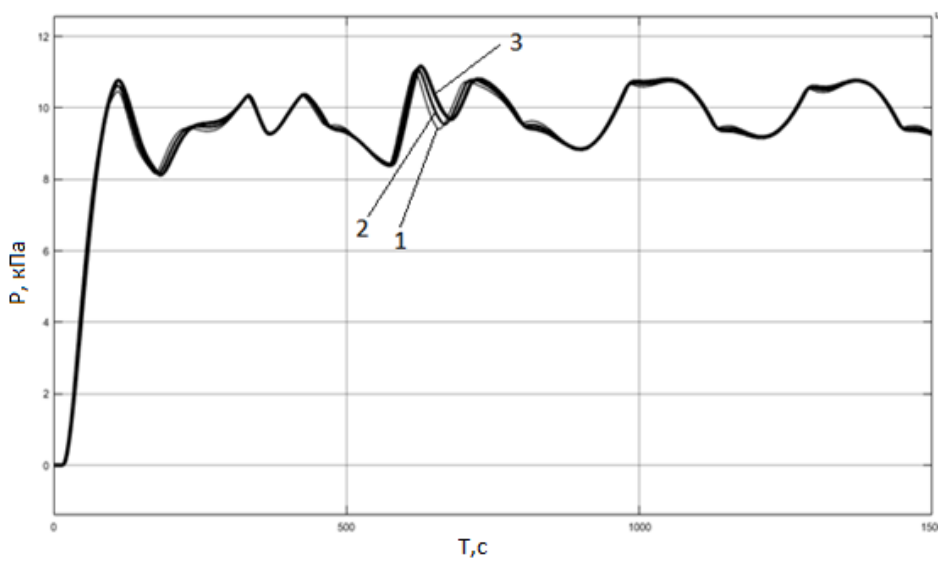


Рис. 12. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні Т1 (1 – Т1 = 8; 2 – Т1 = 10; 3 – Т1 = 12)

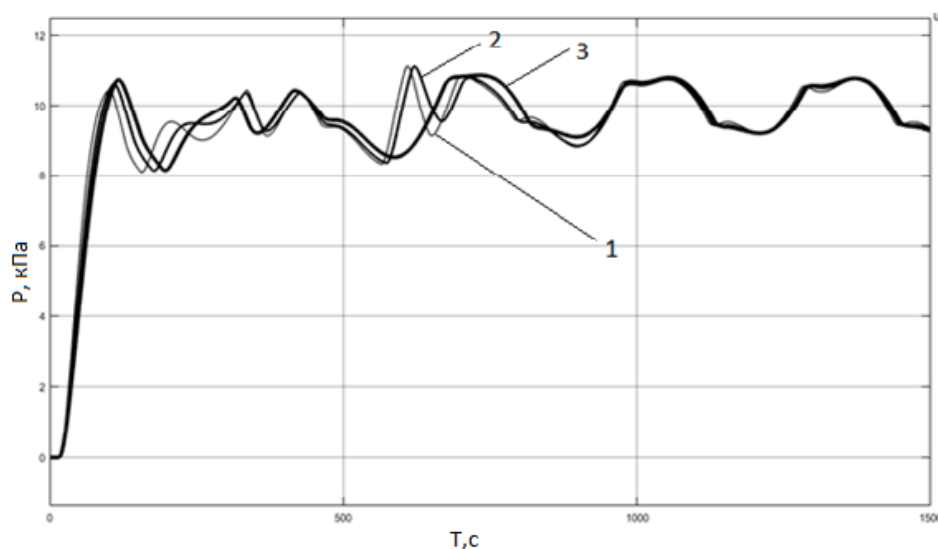


Рис. 13. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні T_2 (1 – $T_2 = 32$; 2 – $T_2 = 40$; 3 – $T_2 = 48$)

Список літератури:

1. Шпарук Б.О., Поліщук І.А. Адаптивне управління інерційними квазістаціонарними об'єктами. *Молодий вчений*. 2017. № 4(44). С. 577–582.
2. Хобін В.А., Парамонов О.І. Регулятор змінної структури для побутових ефективних робастних автоматичних систем. Одес. держ. акад. харч. техн. Одеса, 1997. Вип. 17. С. 241–248.

References:

1. Shparuk B.O., & Polishchuk I.A. Adaptive management of inertial quasi-stationary objects. *Molodyi vchenyi*. 2017. № 4(44). S. 577–582.
2. Khobin V.A., & Paramonov O.I. Regulator of variable structure for household effective robust automatic systems. Odes. derzh. akad. kharch. tekhn. Odesa, 1997. Vyp. 17. S. 241–248.