

де  $Q_{б.г.}$ ,  $Q_{ог}$ ,  $Q_{з.с.}$ ,  $Q_{в.с.}$  – втрати теплоти з біогазом, через огороження, на нагрівання завантажувального субстрату і з вивантаженим субстратом відповідно.

Методика визначення складових теплового балансу БГУ в рівності (17) наведена в праці [6].

Потужність нагрівального приладу визначається зі співвідношення еквівалентності 1 кВт-год. = 860 ккал = 3,6 МДж, а також з урахуванням пускового нагрівання субстрату, його об'єму і конструктивної компоновки електронагрівального приладу.

**Висновки.** Розроблена компактна конструктивна схема малогабаритної БГУ неперервної дії з внутрішнім підведенням технологічної теплоти для бродіння субстрату і тришаровим огороженням. БГУ оснащена пристроями підготовки до бродіння, завантаження і вивантаження перебродженого субстрату, розміщеним усередині змішувачем-підігрівачем із спільним їх приводом, а також приладами контролю та автоматичного підтримування заданого теплового режиму бродіння в умовах змінюваної температури навколишнього середовища. Використання запропонованої малогабаритної БГУ у приватних і фермерських господарствах забезпечить можливість одержувати з біомаси дешевий біогаз та ефективне органічне добриво, а також покращити охорону довкілля, що в цілому дасть народному господарству певний економічний ефект.

#### Список використаних джерел

1. Драганов Б.Х., Бессараб, Долінський А.А. та ін. Теплотехніка / за ред. Б.Х. Драганова, 2-е вид., перероб. і доп. – К: Фірма «ІНККОС», 2005. – 400 с.
2. Справочник по теплоснабженню сільського господарства / Л.С. Герасимович, А.Г. Цубанов, Б.Х. Драганов и др. – Мн.: Ураджай, 1993. – 368 с.
3. Патент № UA 44141, Україна, 6С 02 F 3/00. Біогазова установка / А.М. Божок, Ю.А. Бобильов, В.Ф. Понеділок та ін. – № 2001053422; Заявл. 25.05. 2001; Опубл. 15.01. 2002. – Бюл. № 1.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. л-ры, 1981. – 720 с.
6. Божок А.М., Бобильов Ю.А., Параєвський Г.В. Дослідження і вибір ізоляції реактора малогабаритної біогазової установки неперервної дії / Збірник наукових праць ПДАТА. Випуск 9. – Кам'янець-Подільський, 2001. – С. 434-437.

*Аннотация.* Представлена принципиальная схема и описана работа биогазовой установки с внутренним подводом теплоты, а также приведены результаты ее исследования.

**Ключевые слова:** реактор, субстрат, теплота, смеситель, газгольдер, затвор, привод, биогаз, трехслойная стенка.

*Annotation.* The basic diagram and heat supply as well as results of its research are presented and described.

**Key words:** a reactor, a substratum, heat, a mixer, gasholder, a gate/ a drive, biogas, sensor, three-ball wall.

УДК 621.525(088.8)

А.М. Божок, доцент ПДАТУ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРО-ДИФЕРЕНЦІЮЮЧОЇ ЛАНКИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ НЕЕЛЕКТРИЧНОГО ТИПУ

Наведено схему та описано роботу принципово нової пропорційно-інтегро-диференціюючої динамічної ланки систем автоматичного регулювання і керування неелектричного типу, а також результати її дослідження. Установлено, що запропонована ланка має властивості подвійного диференціювання та інтегрування неелектричних сигналів.

**Ключові слова:** коригуючий пристрій, перехідний процес, сільфон, фланець, диференціювання, інтегрування, передаточна функція, аперіодична ланка, дросель, постійна часу.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Гідравлічні, пневматичні і механічні системи автоматичного регулювання (САР) і керування (САК), в складі тільки з функціонально-необхідних ланок, за своїми статичними і динамічними показниками не завжди задовольняють вимоги, які пред'являються до первинних джерел енергії – двигунів внутрішнього згорання (дизелів) з боку резервних дизельних електростанцій, електричних і зварювальних агрегатів, компресорів, сільськогосподарських комбайнів, меліоративних, будівельних та інших машин різних галузей народного господарства. Низькі статичні і динамічні показники САР і САК спричиняють неповноту згорання, пониження експлуатаційної потужності, перевитрату пального, збільшення токсичності відпрацьованих газів дизелів, а також зменшують виробність, порушують агротехнічні строки і погіршують якість виконання технологічних процесів, приводимих ними машин і агрегатів. Все це підвищує експлуатаційні затрати, собівартість продукції, суттєво погіршує екологію довкілля. Тому для усунення вказаних недоліків особливо важливим є покращення показників роботи САР і САК як самих дизелів, так і оснащених ними машин і агрегатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких запропоновано розв'язання даної проблеми.** Одним із відомих методів покращення статичних і динамічних показників САР і САК є послідовне введення в закон регулювання і керування коригуючих пристроїв [1, 2, 3]. При цьому, для спрощення конструкції і можливостей реалізації, останні повинні бути однаковими за фізичною природою із функціонально необхідними ланками систем. Найбільш широке застосування знайшли електричні коригуючі пристрої завдяки винятковій простоті їх реалізації [3]. За допомогою їх виконуються операції диференціювання, інтегрування або їх певне поєднання. Однак, незважаючи на простоту технічної реалізації і широкі функціональні можливості, використовувати їх в САР і САК дизелів та інших машин і агрегатів неелектричного типу неможливо, оскільки на них відсутні електричні джерела струму високої якості або економічно не виправдано через велику вартість.

Серед коригуючих пристроїв неелектричного типу, які знайшли застосування для покращення статичних показників в САР різних об'єктів, в т.ч. і дизелів, є пружне приєднання гідравлічного катаракта до органа дозування паливоподачі в дорогокоштуючих прицепійних регуляторах прямої дії, працюючих за відхиленням частоти обертання колінчастого вала. Але з покращенням статичних показників дія катаракта викликає значні відхилення регульованого параметра в перехідних процесах. Більш ефективним є коригуючий пристрій, працюючий за принципом компенсації збуруючого діяння, який в поєднанні з принципом за відхиленням регульованого параметра значно покращує статичні і динамічні показники САР дизелів, зменшуючи при нульовій ступені нерівномірності в 1,5...2 раза відхилення регульованого параметра в перехідному процесі [2]. Динамічні показники покращаються при використанні гідромеханічного пристрою для диференціювання сигналів в комбінованих САР і САК, працюючих за принципами відхилення регульованого параметра і компенсації діючого збурення [2, 3]. При цьому вони будуть кращими при введенні в закон регулювання першої похідної як від змінювання регульованого параметра, так і збуруючого діяння.

Однак подальше покращення динамічних показників якості роботи САР і САК обмежується відсутністю гідропневмомеханічних коригуючих пристроїв з властивостями пропорційно-інтегро-диференціюючих ланок, формуючих похідні другого і вищих порядків, проходячих через них сигналів.

**Мета дослідження:** розробити і дати теоретичне обґрунтування пропорційно-інтегро-диференціюючої (ПІД) комбінованої ланки систем автоматики неелектричного типу, можливого формування вихідного сигналу, пропорційно змінюванню вхідного, першій і другій похідній від його змінювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На рис. 1 показана розроблена принципово нова (А.С. СРСР № 1229779) схема ПІД комбінованої ланки гідропневмомеханічного типу з можливістю формування першої і другої похідної від проходячих через неї сигналів. ПІД комбінована ланка послідовно включається в контур як гідравлічних, так і пневматичних САР або САК перед виконавчими механізмами для підвищення їх швидкодії і передачі потужних вихідних сигналів.

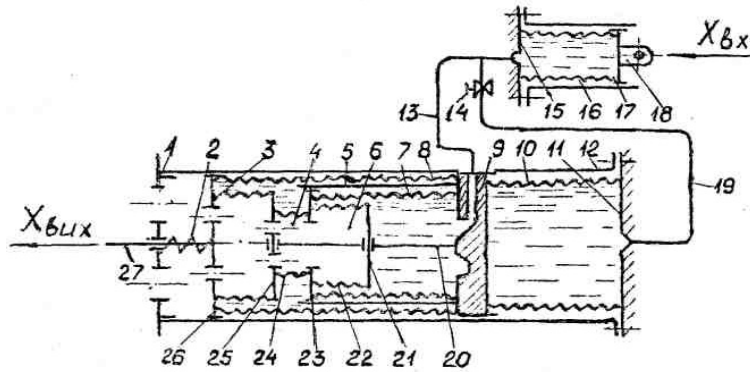


Рис. 1. Принципова схема ПІД гідромеханічної ланки:

- 1 – кришка; 2 – пружина; 3, 9, 18, 21, 23, 25 – фланці рухомі;  
 4, 6 – порожнини; 5, 12 – циліндричні напрямні;  
 7, 8, 10, 16, 22, 24, 26 – сільфони; 11 – корпус; 13, 19 – гідролінії; 14 – дросель;  
 15 – фланець нерухомий; 17 – вузол приймальних сигналів; 20, 27 – тяги.

Вона містить два **10, 8** співвісно розміщених сільфони, з'єднаних торцями рухомих фланцем **9** і установлених в циліндричній напрямній **12**, і вузол **17** приймання вхідних сигналів, сполучений через дросель **14** сільфоном **10** і фланцем **9** за допомогою гнучкої гідролінії **13**. Другий торець сільфона **8** зв'язаний з рухомих фланцем **3**. Підсумовуючий механізм виконаний у вигляді сільфона **26**, розміщеного усередині сільфона **8** співвісно йому в напрямній втулці **5** і з'єднаного одним торцем з фланцем **3** сільфона **8**, а другим торцем – із спільним рухомих фланцем **9**.

Усередині сільфона **8** розміщені три співвісних сільфони **7, 22, 24**, зв'язаних одними торцями з фланцем **25**. Сільфон **7** розміщений в напрямній втулці **5**, жорстко зв'язаний із рухомих фланцем **9**, і з'єднаний з ним своїм другим торцем. Сільфони **22, 24** своїми другими торцями зв'язані з основним спільним фланцем **9** через рухомі фланці **21, 25** і спільну тягу **20**, а порожнинами **6, 4** – з атмосферою.

Напрямна **12** установлена між корпусом **11** і кришкою **1**. Фланець **3** сільфона **8** з'єднаний з вихідною тягою **27**. Для усунення гістерезису матеріалів стінок сільфонів використана пружина **2**, установлена між кришкою **1** і рухомих фланцем **3**. Порожнина сільфона **16** вузла **17** приймання вхідних сигналів із порожниною сільфона **7** сполучена гідролінією **13** безпосередньо.

При різкому змінюванні вхідного сигналу  $X_{вх}$  із-за наявності дроселя **14** тиск в сільфоні **10** зростає повільніше, ніж в сільфоні **7**, в результаті чого фланець **25** переміщується вліво з порівняно більшою швидкістю, ніж фланець **9**, підвищуючи тиск робочої рідини усередині сільфона **8**. При цьому фланець **3** під дією збільшуючого тиску, здолавши зусилля зворотної пружини **2**, переміщується разом з вихідною тягою **27** вліво на величину, пропорційну сигналу  $X_{вх}$ .

По мірі переміщення фланця **25** вліво рухомих фланець **21** із-за жорсткого зв'язку з рухомих фланцем **9** переміщується також вліво, але з меншою швидкістю і сільфон **22** розтягується, зменшуючи при цьому об'єм робочої рідини усередині сільфона **7**, а отже, збільшуючи тиск в ньому пропорційно швидкості змінювання сигналу  $X_{вх}$ . Під дією додаткового тиску рідини в сільфоні **7** фланець **25** додатково переміщується вліво і пропорційно підвищує тиск рідини в сільфоні **8**, в результаті чого фланець **3** і вихідна тяга **27** переміщуються вліво ще на додаткову величину, пропорційну швидкості змінювання вхідного сигналу.

Крім цього, із-за наявного жорсткого зв'язку між фланцями **25** і **9** при переміщенні фланця **3** вліво фланець **25** переміщується з відносно меншою швидкістю, що приводить до розтягування сільфона **26** і додаткового зменшення об'єму рідини в сільфоні **8**, а отже, і додаткового збільшення її тиску. Останнє забезпечує фланцю **3** і вихідній тязі **27** також додаткове переміщення на величину, пропорційну прискоренню змінювання сигналу  $X_{вх}$ .

Таким чином, абсолютне переміщення фланця **3** і вихідної тяги **27** складається з трьох переміщень, тобто вихідний сигнал  $X_{вих}$  ПІД ланки складається з переміщення пропорційного змінюванню вхідного сигналу  $X_{вх}$ , а також переміщень, пропорційних швидкості і прискоренню його змінювання.

У випадку, коли сигнал  $X_{ex}$  змінюється повільно, перепад тисків в сильфонах 10 і 7 практично відсутній. У результаті фланці 9, 3, 25, 23, 21 переміщуються вліво з однаковою швидкістю і вихідна тяга 27 ПІД ланки передає сигнал, пропорційний сигналу  $X_{ex}$ .

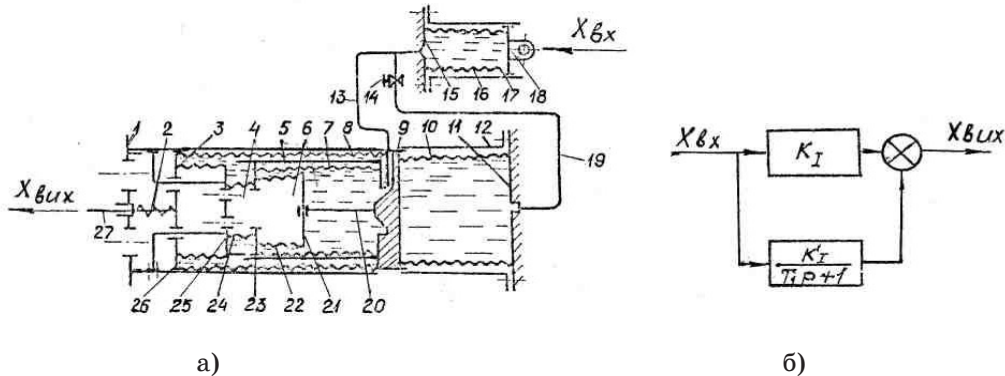


Рис. 2. Схема ПІД гідромеханічної ланки з від'єднаним фланцем 25 від рухомого фланця 9 і зафіксованим на циліндричній втулці 12: а) принципова; б) структурна.

Для виявлення властивостей можливого диференціювання та інтегрування виконаємо аналіз принципової і структурної схем ПІД ланки шляхом чергового вилучення з нього складових динамічних ланок, виведенням передаточної функції.

На рис. 2,а показано принципову схему ПІД ланки з від'єднаним фланцем 25 від тяги 20 і загального фланця 9 і жорстко зв'язаного з напрямною циліндричною втулкою 12. У даному випадку при різкому змінюванні сигналу  $X_{ex}$  з боку датчика чи регулятора вихідний сигнал фланця 23 буде складатися з двох переміщень – переміщення, викликаного змінюванням сигналу  $X_{ex}$ , і переміщення, викликаного швидкістю його змінювання, тобто його першій похідній. Далі цей сигнал в сильфоні 7 тільки підсилиться і загальний вихідний сигнал  $X_{vix}$  тяги 27 буде також пропорційний змінюванню сигналу  $X_{ex}$  і першій похідній від його змінювання.

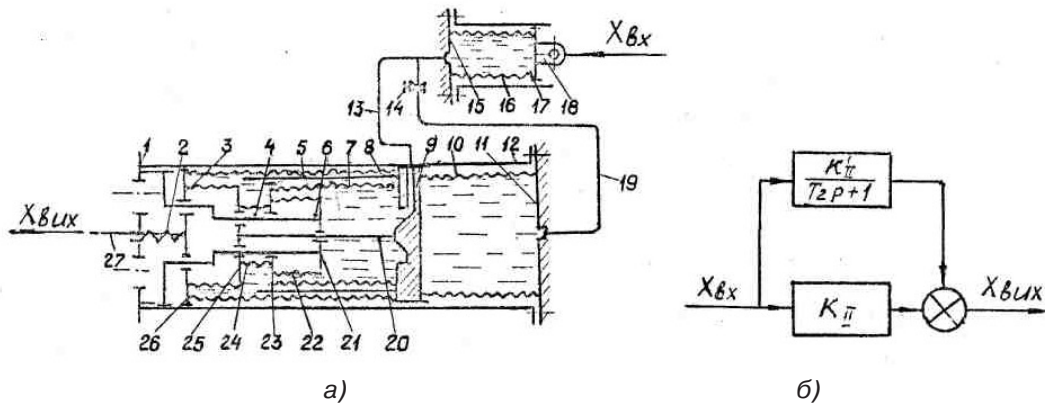


Рис. 3. Схема ПІД гідромеханічної ланки з від'єднаним фланцем 21 від рухомого фланця 9 і зафіксованим на циліндричній втулці 12: а) принципова; б) структурна.

Із структурної схеми (рис. 3, б), складеної по перетвореній принциповій схемі, видно, що, як і в першому випадку, ПІД ланка реалізована також паралельним з'єднанням другої підсилювальної ланки з передаточною функцією

$$W_{II}(p) = K_{II} \quad (3)$$

і другої інерційної аперіодичної ланки з передаточною функцією

$$W'_{II}(p) = \frac{K'_{II}}{T_2 p + 1}. \quad (4)$$

Отже, і в другому випадку ПІД ланка за своїми динамічними властивостями більше наближається до диференціюючої [3].

Із загальної принципової схеми (рис. 4, а), в якій через тягу 20 до рухомого фланця 9 під'єднані фланці 21, 25, випливає, що ПІД комбінована ланка утворена паралельним



з'єднанням двох пропорційно-інтегро-диференціюючих ланок, в складі двох підсилювальних ланок з передаточними функціями (1, 3) і двох інерційних аперіодичних ланок з передаточними функціями (2, 4).

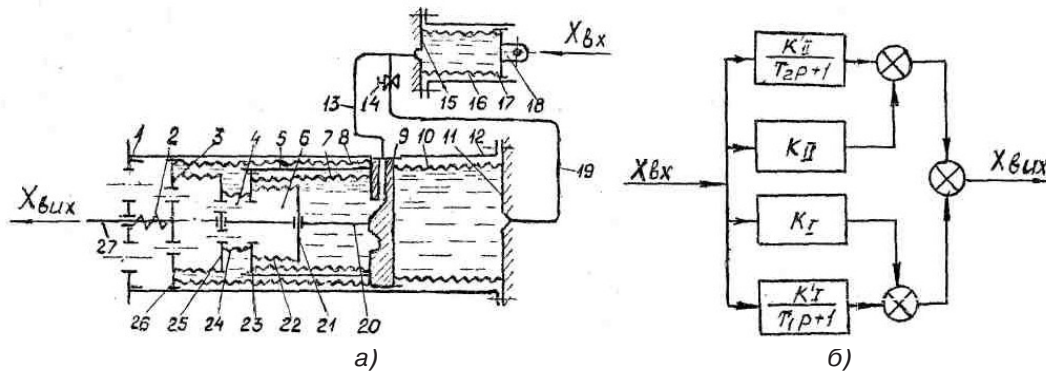


Рис. 4. Схема комбінованої ПІД гідромеханічної ланки з під'єднаними фланцями 21, 25 до рухомого фланця 9: а) принципова; б) структурна.

Структурна схема такого з'єднання показана на рис. 3,б.

Загальний вихідний сигнал комбінованої ПІД ланки при різному змінюванні сигналу

$X_{ex}$  буде рівний

$$X_{вих} = X'_{I_{вих}} + X'_{II_{вих}} + X_{I_{вих}} + X_{II_{вих}} + X_{I_{двих}} + X_{II_{двих}}, \quad (5)$$

де  $X_{вих}$  – результуючий вихідний сигнал; складові вихідного сигналу;

$X'_{I_{вих}}, X'_{II_{вих}}, X_{I_{двих}}$  – відповідно переміщення фланця 23 від поступання рідини з сільфона 16 в сільфон 7, викликане переміщенням спільного рухомого фланця 9 від поступання рідини з сільфона 16 в сільфон 10; додаткове переміщення фланця 21 обумовлене наявністю дроселя 14;

$X'_{II_{вих}}, X_{II_{вих}}, X_{II_{двих}}$  – відповідно переміщення фланця 3, викликане переміщенням фланця 23 від поступання рідини із сільфона 16 в сільфон 7, викликане переміщенням спільного рухомого фланця 9 від поступання рідини з сільфона 16 в сільфон 10; додаткове переміщення, викликане переміщенням фланця 25, обумовленого наявністю дроселя 14.

З врахуванням коефіцієнтів підсилення складових  $X_{вих}$  і величини  $X_{ex}$  рівняння (5) набуде вигляду:

$$K_I X_{ex} + K'_I X_{ex} + K_{II} X_{ex} + K'_{II} X_{ex} = X'_{I_{вих}} + X'_{II_{вих}} + X_{I_{вих}} + X_{II_{вих}} + X_{I_{двих}} + X_{II_{двих}}, \quad (6)$$

де  $K_I$  і  $K_{II}$  – коефіцієнт підсилення першої і другої підсилювальної ланки;

$K'_I$  і  $K'_{II}$  – коефіцієнт підсилення по каналах першої і другої інерційної аперіодичної ланки.

Сила гідравлічного демпфування, обумовлена наявністю дроселя 14 і спричинювана переміщенням  $X_{I_{двих}}$  і  $X_{II_{двих}}$ , зрівноважується рівнодійною силою жорсткості пружини 2 і матеріалу стінок сільфонів 7, 8, 10, 16, 22, 24, 26. Тому

$$X_{I_{двих}} = (C_{np} + C_7 + C_8 + C_{10} + C_{16} + C_{22} + C_{24} + C_{26}) - \nu \left( \frac{dX'_{I_{вих}}}{dt} - \frac{dX_{I_{вих}}}{dt} \right) = 0 \quad (7)$$

і

$$X_{II_{двих}} = (C_{np} + C_7 + C_8 + C_{10} + C_{16} + C_{22} + C_{24} + C_{26}) - \nu \left( \frac{dX'_{II_{вих}}}{dt} - \frac{dX_{II_{вих}}}{dt} \right) = 0, \quad (8)$$

де  $C_{np}, C_7, C_8, C_{10}, C_{16}, C_{22}, C_{24}, C_{26}$  – відповідно жорсткості зворотної пружини 2 і матеріалу стінок сільфонів 7, 8, 10, 16, 22, 24, 26;

$\nu$  – коефіцієнт гідравлічного демпфування;

$\frac{dX'_{II_{вих}}}{dt}$  і  $\frac{dX_{I_{вих}}}{dt}$  – поступальна швидкість відповідно фланців 23 і 9 по каналу першої аперіодичної ланки, обумовлена гідравлічним демпфуванням;

$\frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} i \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt}$  – поступальна швидкість відповідно фланців **3** і **9** по каналу другої аперіодичної ланки, обумовлена гідравлічним демпфуванням.

Із рівнянь (8, 9) з врахуванням того, що швидкість фланця **9** в порівнянні зі швидкостями фланців **23** і **3** мала і нею можна знехтувати, знаходимо

$$X_{\text{Іввх}} = \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} \quad (9)$$

і

$$X_{\text{Іввх}} = \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt}, \quad (10)$$

де  $\sum C_C = C_7 + C_8 + C_{10} + C_{16} + C_{22} + C_{24} + C_{26}$  – сума жорсткостей всіх сільфонів.

З врахуванням отриманих виразів (9, 10) рівняння (6) приводимо до вигляду

$$\begin{aligned} K'_I X_{\text{ex}} + K''_{II} X_{\text{ex}} + K_I X_{\text{ex}} + K_{II} X_{\text{ex}} = X'_{\text{Іввх}} + \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} + X'_{\text{Іввх}} + \\ + \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} + X_{\text{Іввх}} + X_{\text{Іввх}} \end{aligned} \quad (11)$$

З рівняння (11) випливає, що вихідний сигнал  $X_{\text{ввх}}$  ПІД комбінованої ланки складається з шести складових, причому перших двох обумовлений переміщенням фланця **23**, наступних двох – переміщенням фланця **3**, а двох останніх – переміщенням фланця **9**. Перших два члена вихідних сигналів разом з першим членом вхідного сигналу утворюють першу аперіодичну ланку з диференціальним рівнянням виду

$$K'_{Ia} X_{\text{ex}} = X'_{\text{Іввх}} + \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} \quad (12)$$

і з передаточною функцією

$$W'_I(p) = \frac{K'_I}{T_1 p + 1}, \quad (13)$$

де  $T_1 = \frac{\nu}{K'_{Ia} (C_{\text{нр}} + \sum C_C)}$  – постійна часу першої аперіодичної ланки;

$K'_I = \frac{1}{K'_{Ia}}$  – коефіцієнт підсилення першої аперіодичної ланки.

Наступних два члена вихідних сигналів разом із другим членом, що складає вхідний сигнал, утворюють другу аперіодичну ланку з аналогічним диференціальним рівнянням виду

$$K'_{IIa} X_{\text{ex}} = X'_{\text{Іввх}} + \frac{\nu}{C_{\text{нр}} + \sum C_C} \cdot \frac{dX'_{\text{Іввх}}}{dt} \quad (14)$$

і передаточною функцією

$$W'_{II}(p) = \frac{K'_{II}}{T_2 p + 1}, \quad (15)$$

де  $T_2 = \frac{\nu}{K'_{IIa} (C_{\text{нр}} + \sum C_C)}$  – постійна часу другої аперіодичної ланки;

$K'_{II} = \frac{1}{K'_{IIa}}$  – коефіцієнт підсилення другої аперіодичної ланки.

П'ятий член правої і третій лівої частини рівняння (11) разом утворюють першу підсилювальну ланку, що описується алгебраїчним рівнянням наступного виду:

$$K_I X_{\text{ex}} = X_{\text{Іввх}}. \quad (16)$$

Звідки його передаточна функція буде

$$W_I(p) = K_I, \quad (17)$$

де  $K_I$  – коефіцієнт підсилення першої підсилювальної ланки.

Шостий член правої і четвертий член лівої частини рівняння (11) разом утворюють другу підсилювальну ланку з наступним алгебраїчним рівнянням і передаточною функцією

$$K_{II} X_{ex} = X_{IIex} \quad (18)$$

і

$$W_{II}(p) = K_{II}, \quad (19)$$

де  $K_{II}$  – коефіцієнт підсилення другої підсилювальної ланки.

Таким чином, сигнал  $X_{ex}$  ПІД комбінованої ланки формується шляхом паралельного з'єднання чотирьох ланок – двох аперіодичних і двох підсилювальних.

Структурна схема такого з'єднання показана на рис. 4, б. Відповідно до представленої структури знаходимо еквівалентну передаточну функцію ПІД комбінованої ланки, утвореної паралельним з'єднанням чотирьох типових динамічних ланок.

$$W(p) = W'_I(p) + W'_{II}(p) + W_I(p) + W_{II}(p). \quad (20)$$

З врахуванням (13), (15), (17) і (19) і після перетворень вираз (20) набуде такого вигляду:

$$W(p) = \frac{(K_I + K_{II})T_1 T_2 p^2 + (K'_I T_2 + K'_{II} T_1 + K_I T_1 + K_I T_2 + K_{II} T_1 + K_{II} T_2)p + K'_I + K'_{II} + K_I + K_{II}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)} \quad (21)$$

Для зручностей розрахунків одержане рівняння доцільно представити в іншому вигляді, введенням наступних позначень [5]

$$K = K'_I + K'_{II} + K_I + K_{II}; \quad (22)$$

$$\alpha = K[T_1 T_2 (K_I + K_{II})]; \quad (23)$$

$$\beta = K(K'_I T_2 + K'_{II} T_1 + K_I T_1 + K_I T_2 + K_{II} T_1 + K_{II} T_2). \quad (24)$$

При умові, що  $T_3 > T_4$ , їх вирази матимуть вигляд:

$$T_3 = \frac{\beta}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{\beta^2}} \right), \quad (25)$$

$$T_4 = \frac{\beta}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{\beta^2}} \right). \quad (26)$$

З врахуванням виразів (22-26) рівняння (21) приводимо до такого вигляду:

$$W(p) = K \frac{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (27)$$

Одержаний вираз є передаточною функцією комбінованої ланки з пропорційно-інтегро-диференціюючими властивостями. Такі ланки застосовують для покращення динамічних властивостей систем автоматики. Але в теперішній час їх фізична реалізація відома тільки за допомогою ланок електричного типу.

Якщо відповідним чином підібрати значення постійних часу  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  і  $T_4$  складових інерційних аперіодичних ланок і в результаті забезпечити умови, при яких  $T_3$  і  $T_4 > T_1$  і  $T_2$ , то запропонована ПІД комбінована ланка за своїми динамічними властивостями більше наближається до диференціюючої ланки. Однак враховуючи те, що в запропонованому технічному рішенні настройка дроселя виконана на диференціювання сигналів, одержаних з'єднанням чотирьох типових гідромеханічних динамічних ланок, ПІД комбінована ланка за своїми динамічними властивостями належить до засобів автоматики неелектричного типу з подвійним диференціюванням сигналів.

**Висновки.** Розроблена конструктивна і структурна схема пропорційно-інтегро-диференціюючої комбінованої ланки і виконані її теоретичні дослідження. Одержаний вираз (27) являє собою комбіновану ланку з подвійними пропорційно-інтегро-диференціюючими властивостями, яка у динамічному відношенні представлена двома паралельно з'єднаними пропорційно-інтегро-диференціюючими ланками гідромеханічного типу. Її можна застосовувати в САР дизелів, працюючих в агрегаті з різними споживачами їх енергії, в САК виконавчими

механізмами технологічного обладнання та в інших системах з однаковими за фізичною природою сигналами регулювання і керування, для покращення їх динамічних показників.

#### Список використаних джерел

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 615 с.
2. Левин М.И. Автоматизация судовых дизельных установок – Л.: Судостроение, 1962. – 465 с.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
4. Авторское свидетельство СССР № 1229779, G 06 G 5/00. Устройство для дифференцирования сигналов. / Божок А.М. № 3773869/24-24. Заявл. 31.07. 1984. Опубл. 07.05. 1986. Бюл. № 17.
5. Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1967. – 420 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. л-ры, 1981. – 720 с.

*Аннотация.* Представлена схема и описана работа принципиально нового пропорционально-интегро-дифференцирующего звена систем автоматического регулирования и управления неэлектрического типа, а также результаты ее исследования. Установлено, что предложенное звено имеет свойства двойного дифференцирования и интегрирования неэлектрических сигналов.

*Ключевые слова:* корректирующее устройство, переходной процесс, сиффон, фланец, дифференцирование, интегрирование, передаточная функция, аperiodическое звено, дроссель, постоянная времени.

*Summary.* Operational diagram of essentially new, proportionally integro-differentiating dynamic segment of automatic non-electric type systems as well as results of its research are substantiated and described. It has been found experimentally that the presented segment has properties of double differentiation and integration of nonelectric signals.

*Keywords:* adjusting gear, transient, silphon a flange, differentiation, integration, transmitting function, an aperiodic segment, among choke, time constant.

УДК 631.3.001

*К.В. Замойська, кандидат технічних наук, в. о. доцента,  
С.М. Замойський, кандидат технічних наук, доцент ПДАТУ*

## ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОВЕРХНЕВОГО РОЗПУШУВАННЯ ГРУНТУ РОТАЦІЙНИМ РОЗПУШУВАЧЕМ

*Наведені результати теоретичних досліджень впливу конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту і фізико-механічних властивостей ґрунту на ступінь його подрібнення.*

*Ключові слова:* ротаційний розпушувач, ґрунт, ступінь подрібнення, ніж, міцність структурних агрегатів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Поверхневий обробіток ґрунту є найважливішою технологічною операцією при підготовці його до сівби різних сільськогосподарських культур. Від якості виконання цієї операції залежать умови проростання насіння і розвиток рослин в початковий період їх вегетації. Основним завданням поверхневого обробітку є оптимальне подрібнення ґрунтових агрегатів і формування необхідного його структурного стану при ефективних енергетичних витратах.

На сьогоднішній день існуючі ґрунтообробні знаряддя не повністю забезпечують виконання цих завдань і не завжди забезпечують високу якість обробітку ґрунту з різними фізико-механічними властивостями. У першу чергу це залежить від їх конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи. Ті способи обробітку ґрунту, які застосовуються у наявних на