

# Кількісна оцінка властивостей структурних рішень електрогідрравлічних позиційних приводів

Лі Цян<sup>1</sup> • О.В. Узунов<sup>1</sup>

Received: 18 October 2022 / Accepted: 14 November 2022

**Анотація.** На основі аналізу відомих електрогідрравлічних приводів позиціонування наведено їх узагальнену схему, яка включає: блок управління, блок формування команди на вихід в задану позицію, виконавчий пристрій, датчик положення та блок постачання гідрравлічної енергії. Визначено, що основна відмінність приводів полягає в блоці формування команд, структурні рішення якого ґрунтуються на чотирьох методах управління: аналогове управління подачею рідини по факту досягнення заданої позиції; дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої позиції; дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції; дискретне управління порційною подачею рідини з фактом досягнення заданої позиції. Для різних структурних рішень приводів виконано аналіз впливу основних параметрів на ефективність досягнення ними базових властивостей. Запропоновано кількісну оцінку, яка дозволила виявити взаємозв'язок між структурою і властивостями приводів. Отримані результати можуть бути використані при розробці нових ефективних позиційних приводів.

**Ключові слова:** електрогідрравлічні приводи позиціонування, властивість, структура, методи управління, оцінювання властивостей.

## Вступ

Електрогідрравлічні позиційні приводи мають переваги гнучкості електричного приводу та високого співвідношення потужності до маси гідрравлічного приводу і можуть забезпечувати функцію позиціонування. Електрогідрравлічні приводи позиціонування широко використовуються в багатьох промислових і мобільних обладнаннях, таких як роботизовані маніпулятори, гідрравлічні екскаватори, тунелебурильні машини та інших.

У практичних застосуваннях існує багато вимог до властивостей електрогідрравлічних приводів позиціонування, основними з яких є: дискретність, точність позиціонування, досяжна швидкість, зусилля, швидкодія, можливість керування швидкістю, вимогливість до чистоти робочої рідини та вартість. Відомі позиційні приводи за своїми властивостями не задовольняють в

повній мірі вказаним вимогам, тому постійно відбувається пошук нових структурних рішень. В той же час, у відомих дослідженнях не знайдено достатнього відображення взаємозв'язок між структурою та властивостями приводів. Враховуючи що вказаний зв'язок має важливе значення для створення нових ефективних технічних рішень, його виявлення є актуальним.

## Мета роботи

Дослідження структурних рішень відомих позиційних приводів, з'ясування їх базових основ та особливостей, визначення факторів, які є відповідальними за кількісні показники властивостей та отримання залежностей, які відображають зв'язок між структурою приводів та їх властивостями.

## Узагальнена схема електрогідрравлічних позиційних приводів

Аналіз технічних рішень відомих електрогідрравлічних позиційних приводів показав, що на загальному

✉ Лі Цян  
Li.Qiang0708@outlook.com

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

рівні вони можуть бути представлені наступною схемою (Рис. 1). Відповідно до схеми, позиціонування штоку виконавчого пристрою відбувається наступним чином. Блок управління (Рис. 1), на основі інформації про задане положення штоку, посилає сигнал блоку формування команди, який визначає потрібну витрату і подає її до виконавчого пристрою. Витрата задає швидкість руху штоку. Датчик положення контролює переміщення штоку і передає інформацію про його поточне положення на блок управління, який корегує сигнал до блоку формування команд і, при досягненні штоком заданого положення, зупиняє подачу витрати, що призводить до зупинки штоку.

Узагальнена сема (Рис. 1) дозволила також виявити, що особливості розглянутих електрогідролічних позиційних приводів зосереджені у блоці формування команд. При цьому будова блоку формування команд залежить від застосованого методу управління. Метод управління також може обумовлювати необхідність використання в приводі датчика положення.



Рис. 1. Узагальнена схема електрогідролічних позиційних приводів

### Деталізація блоків формування команд у відомих технічних рішеннях

На основі аналізу схем блоків формування команд відомих електрогідролічних позиційних приводів визначено чотири методи управління. Такими методами є: аналогове управління подачею рідини по факту досягнення заданої позиції (М1); дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої позиції (М2); дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції (М3); дискретне управління порційною подачею рідини з фактом досягнення заданої позиції (М4). Для глибшого розуміння методів і технічних рішень, які побудовані на їх основі, розглянемо їх більш детально.

#### Блок формування команд в приводах, що ґрунтуються на методі управління М1

В позиційних приводах, які ґрунтуються на методі управління (М1) [1, 2], блок формування команд реалізується на основі слідкуючого або пропорційного розподільника (Рис. 2). При цьому сигнал блоку управління задає положення золотника розподільника від-

носно розточок у корпусі, що призводить до зміни площ дросельних вікон і, відповідно, зміни витрати робочої рідини через них. При сигналі, який зміщує золотник вправо відбувається подавання робочої рідини від каналу Р до каналу А і одночасно зливання рідини з каналу Б до каналу Т. При сигналі управління, який зміщує золотник в середнє положення, проходження робочої рідини через дросельні вікна припиняється. При сигналі, який зміщує золотник вліво відбувається подавання робочої рідини від каналу Р до каналу Б і одночасно зливання рідини з каналу А до каналу Т (Рис. 3). Використання такого блоку формування команд в приводі позиціонування забезпечує керування величиною подачі і зливу робочої рідини з можливістю зміни комунікації каналів.

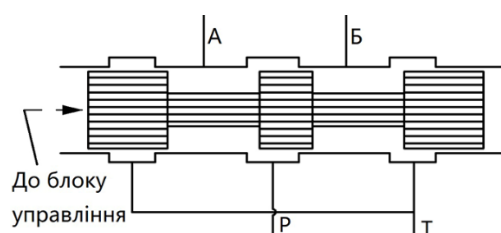


Рис. 2. Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління М1. (А і Б – канали з'єднання з виконавчим пристроєм, Р і Т – канал тиску і зливу для з'єднання з блоком постачання гідравлічної енергії)

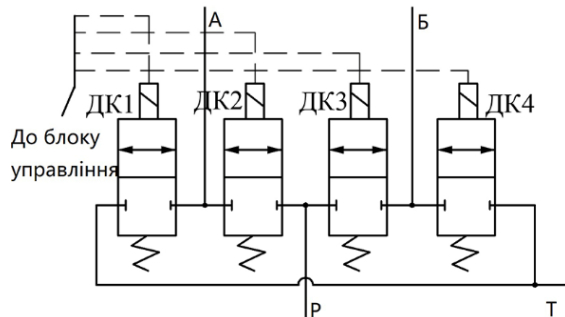


Рис. 3. Графік залежності витрати на виході блоку від величини сигналу управління. (пунктирна лінія – сигнал, суцільна лінія – витрати)

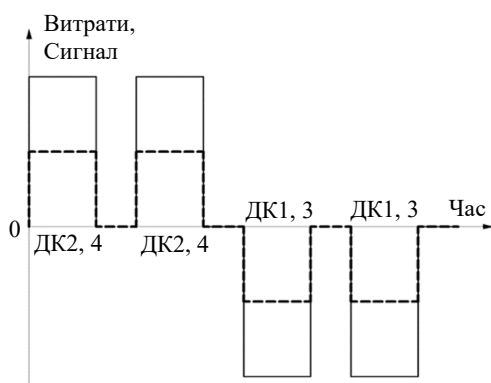
#### Блок формування команд в приводах, що ґрунтуються на методі управління М2

В позиційних приводах, які ґрунтуються на методі управління (М2) [3], блок формування команд реалізується на основі гідравлічних дискретних компонентів (Рис. 4). По сигналам від блоку управління дискретні компоненти ДК1-ДК4 попарно (ДК2, ДК4 або ДК1, ДК3) переводяться в верхню (відкриту) позицію, що призводить до подачі робочої рідини до каналів А і Б через ДК1 і ДК3 (або ДК2 і ДК4), а зливання через ДК2 і ДК4 (або ДК1 і ДК3). При цьому блок управління задає час відкриття вікон дискретних компонентів, що забезпечує пропускання певної кількості робочої рідини. Після отримання сигналу на повернення дискретних компонентів в початковий стан, подавання і

злив робочої рідини зупиняється (Рис. 5). Така конфігурація блоку формування команд забезпечує керування часом подачі і зливу робочої рідини з можливістю зміни напрямку її руху.



**Рис. 4** Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління М2. (Р і Т – канал тиску і зливу для з'єднання з блоком постачання гідравлічної енергії, А і Б канали для зв'язку в виконавчому пристрої)



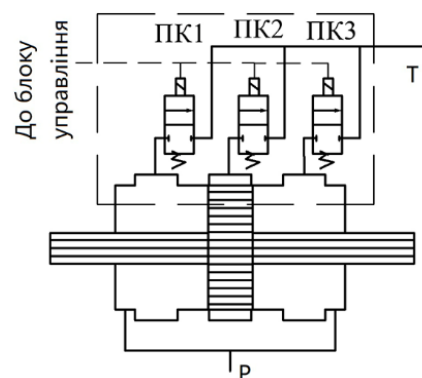
**Рис. 5** Графік залежності витрати на виході блоку від часу подачі сигналу управління. (пунктирна лінія – сигнал, суцільна лінія – витрати)

### Блок формування команд в приводах, що ґрунтуються на методі управління М3

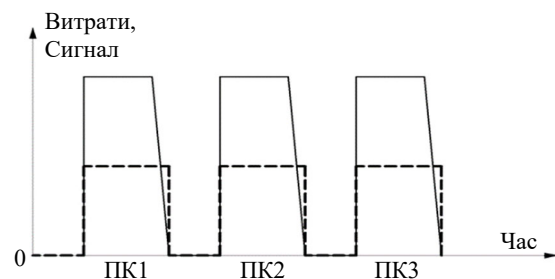
В позиційних приводах, які ґрунтуються на методі управління (М3), блок формування команд може реалізовуватись на основі двох варіантів спеціальних структур приводу: структура, утворена багатовіконним виконавчим пристроєм та перемикаючими клапанами [4, 5] (Рис. 6); структура, утворена декількома вбудованими або зовнішніми камерами [6, 7]. Вказані спеціальні структури забезпечують можливість виходу штоку в наперед задані фіксовані позиції, кількість яких є обмеженою.

При подачі сигналу від блоку управління до блоку формування команд (Рис. 6, позначено пунктирним контуром), який утворено багатомісним виконавчим пристроєм і перемикаючими клапанами ПК1-ПК3, змінюється робочий стан одного з перемикаючих клапанів. Це призводить, наприклад при відкритті ПК3,

до зливу робочої рідини з каналу Р через порожнину виконавчого пристрою і перемикальний клапан в канал Т. Одночасно, це призводить до подавання робочої рідини від каналу Р до порожнини виконавчого пристрою. Оскільки блок формування команд є вмонтованим у виконавчий пристрій, зливання і подавання робочої рідини призводить до руху штоку, який доходячи до наперед заданої позиції вимикає рух робочої рідини через блок формування команд перекриваючи робоче вікно, яке взаємодіє з відповідним йому клапаном (Рис. 7). Аналогічним чином відбувається реакція на сигнали управління клапанами ПК1 і ПК2. Оскільки позиції штоку електрогідравлічних приводів на основі методу управління М3 є фіксованими, функція позиціонування може бути досягнута без датчика положення.



**Рис. 6** Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління М3 (Р і Т – канал тиску і зливу для з'єднання з блоком постачання гідравлічної енергії)



**Рис. 7** Графік залежності витрати на виході блоку від сигналу управління (пунктирна лінія – сигнал, суцільна лінія – витрати)

Блок формування команд (Рис. 8, Рис. 9, позначено пунктирним контуром) утворений багатоканальним виконавчим пристроєм і розподільниками РП1-РП3. При подачі сигналу управління в блоці формування команд змінюється робочий стан одного або декількох з розподільників РП1-РП3. Це призводить, наприклад при відкритті РП1, до подавання робочої рідини з каналу Р через розподільник РП1 до камери. Одночасно, це призводить до зливу робочої рідини від правої камери виконавчого пристрою до каналу Р (Рис. 10).

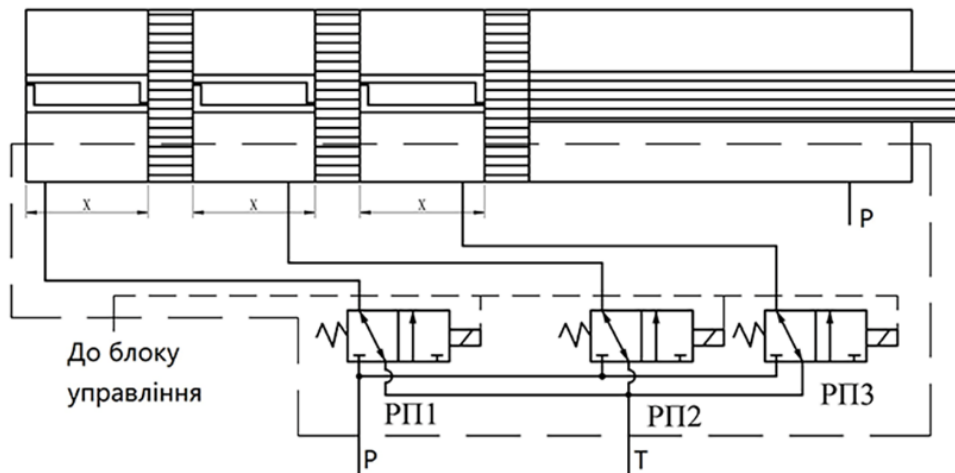


Рис. 8. Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління МЗ (вбудована камера, P і T – канал тиску і зливу для з’єднання з блоком постачання гідравлічної енергії)

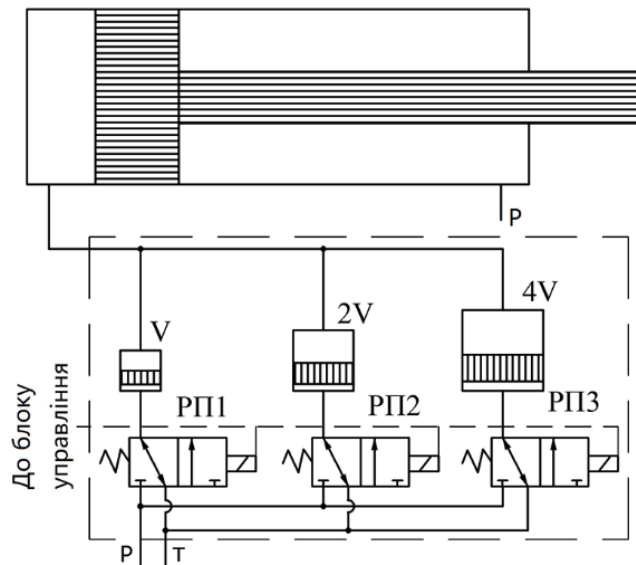


Рис. 9. Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління МЗ (зовнішня камера, P і T – канал тиску і зливу для з’єднання з блоком постачання гідравлічної енергії)

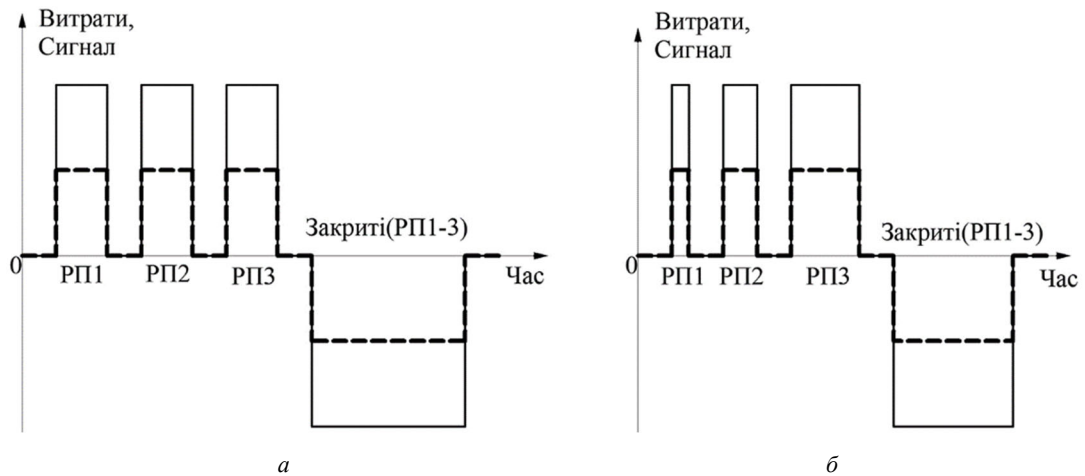


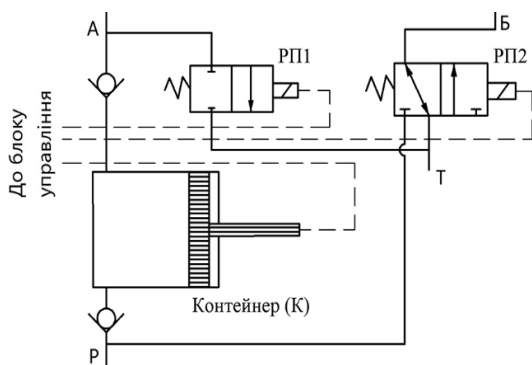
Рис. 10. Графік залежності витрати на виході блоку від сигналу управління (a – вбудована камера, б – зовнішня камера; пунктирна лінія – сигнал, суцільна лінія – витрати)

### Блок формування команд в приводах, що ґрунтуються на методі управління М4

В позиційних приводах, які ґрунтуються на методі управління (М4) [8–11], блок формування команд реалізується на основі контейнера, який може циклічно заповнюватися та подавати фіксовані порції робочої рідини (Рис. 11).

Сигнали блоку управління, керують робочим станом розподільників РП1, РП2 і циклічно дією контейнера К.

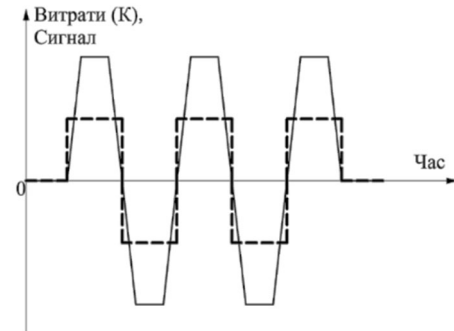
При сигналі, який рухає шток контейнера К вліво відбувається подавання робочої рідини через верхній зворотний клапан до каналу А і одночасного зливання рідини з каналу Б до каналу Т. При цьому, нижній зворотний клапан, розподільники РП1, РП2 знаходяться в закритому стані.



**Рис. 11.** Схема блоку формування команд в позиційних приводах, що ґрунтуються на методі управління М4 (А і Б – канали з'єднання з виконавчим пристроєм, Р і Т – канал тиску і зливу для з'єднання з блоком постачання гідравлічної енергії)

При сигналі, який рухає шток контейнера К вправо, робоча рідина подається в контейнер К з каналу Р через нижній зворотний клапан, одночасно рідина подається з каналу Р через розподільника РП2 до каналу Б, і одночасно рідина зливається з каналу А через розподільника РП1 до каналу Т. При цьому, верхній зворотний клапан є закритим, а розподільники Р1 і Р2 знаходяться у відкритому стані (Рис. 12).

Розглянувши склад і особливості будови блоків формування команд було визначено основні фактори, які впливають на кількісні показники властивостей позиційних приводів. Такими факторами є: розміри робочих вікон розподільників, які визначають швидкість позиціонування; зазори між рухомими деталями розподільника, які визначають вимоги до чистоти робочої рідини, точність позиціонування та вартість; можливість швидкого повного відкриття вікон розподільника, яка визначає швидкодію; можливість задавати малі порції рідини, яка визначає дискретність; можливість змінювати розмір вікна розподільника, яка визначає керованість швидкістю позиціонування, і т. д.



**Рис. 12.** Графік залежності витрати на виході блоку від сигналу управління (пунктирна лінія – сигнал, суцільна лінія – витрата контейнера)

Аналіз впливу кожного з факторів виконано на якісному рівні. Це було зроблено шляхом оцінювання технічно можливих зміни величини того або іншого фактору, в межах фізичних можливостей складових частин кожного з блоків формування команд, і прогнозування логічних наслідків для вибраної властивості приводу. Наприклад, наявна технічна можливість швидкого завдання великих розмірів робочих вікон розподільника призводить до значної витрати через робочі вікна, і, відповідно до високої швидкодії при позиціонуванні.

Для побудови кількісних залежностей властивостей приводу від їх структури потрібно було з'ясувати яким чином порівнювати структурні рішення і як оцінювати властивості.

### Кількісна оцінка взаємозв'язку між структурою і властивостями в позиційних приводах

Вище було показано, що на загальному рівні всі структури приводів є однаковими (Рис. 1). Також було показано, що структурна особливість технічних рішень ґрунтується на методі управління, який застосовано в блоці формування команд приводів. Виходячи з цього, запропоновано розглядати структури приводів через метод управління. Крім того, для порівняння структур на основі виявлених методів управління, запропоновано застосовувати такий критерій як “ефективність використання структури в досягненні комплексу властивостей”. Як це зроблено? Для кожного приводу, який ґрунтується на відповідному методі управління, було розглянуто всі властивості заданого переліку і фактори, які їх визначають. Ґрунтуючись на впливі визначальних факторів проаналізовано та оцінено внесок кожної властивості в досягну потенційну ефективність приводу. Оцінка виконувалась за балами в діапазоні  $-5 \dots 0 \dots 5$ . Значення балів для кожної властивості вибирались в порівнянні з балами, які призначались для цієї ж властивості в інших приводах.

Значення критерію “ефективність використання структури в досягненні комплексу властивостей” роз-

раховувалось як алгебраїчна сума балів, що була набрана за всіма властивостями. Максимальна можлива ефективність структурного рішення становила 30 балів. Нижче, для прикладу, наведено дані про властивості, впливові фактори та частку, яку вносить властивість в ефективність використання структури приводу, побудованого на методі М1 (Табл. 1). Результати розрахунку

балів ефективності, набрані кожним з структурно різних приводів і бали, які ці приводи набрали за кожної властивості наведені в Табл. 2.

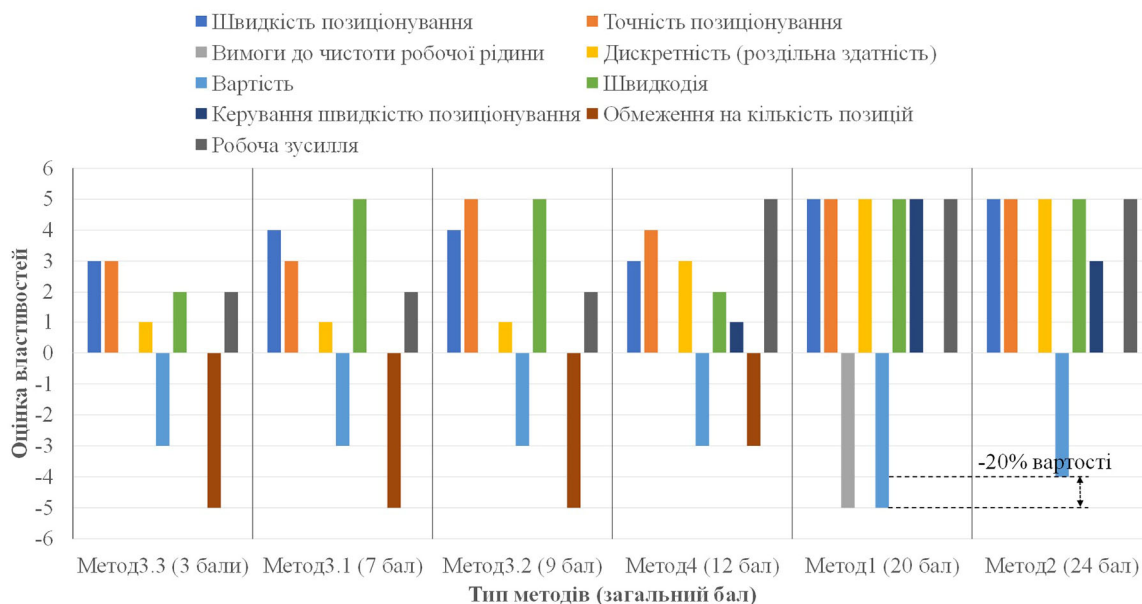
Представлення цих результатів в графічному вигляді дозволяє візуалізувати взаємозв'язок між властивостями приводів і їх структурними рішеннями з врахуванням ефективності їх використання. Наприклад,

**Таблиця 1.** Властивості та їх забезпечення для приводів, побудованих за методом 1 – управління величиною аналогових сигналів

№	Властивість (Діапазон оцінок)	Оцінка та фактори впливу
1	Швидкість позиціонування (0...5 балів)	5 балів, за рахунок великого розміру вікна розподільника.
2	Точність позиціонування (0...5 балів)	5 балів, за рахунок замкненої системи керування
3	Вимоги до чистоти робочої рідини (-5...0 балів)	-5 балів, з причини малих розмірів зазорів в розподільнику
4	Дискретність (роздільна здатність) (0...5 балів)	5 балів, за рахунок можливості задавати малі розміри робочого вікна розподільника
5	Вартість (-5...0 балів)	-5 балів, з причини необхідності виготовлення деталей розподільника з високою точністю
6	Швидкодія (0...5 балів)	5 балів, за рахунок можливості швидкого завдання великого розміру вікна розподільника
7	Керування швидкістю позиціонування (0...5 балів)	5 балів, за рахунок зміни величини відкриття робочого вікна розподільника
8	Обмеження на кількість позицій (-5...0 балів)	0 бал, визначається дискретністю
9	Зусилля (-5...0 балів)	5 балів, з причини камери зі штоком з'єднана з баком
	Загальна оцінка ефективності методу 1	20

**Таблиця 2.** Фактори та досяжні кількісні показники кожної властивості з врахуванням методу управління

Структура приводу на основі методу Властивість	М1 – аналогове управління подачею рідини по факту досягнення заданої позиції	М2 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої позиції	М3 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції	М4 – дискретне управління порційною подачею рідини з фактом досягнення заданої позиції
Швидкість позиціонування	5	5	4/4/3	3
Точність позиціонування	5	5	3/5/3	4
Вимоги до чистоти робочої рідини	-5	0	0/0/0	0
Дискретність (роздільна здатність)	5	5	1/1/1	3
Вартість	-5	-4	-3/-3/-3	-3
Швидкодія	5	5	5/5/2	2
Керування швидкістю позиціонування	5	3	0/0/0	1
Обмеження на кількість позицій	0	0	-5/-5/-5	-3
Зусилля	5	5	2/2/2	5
Загальна оцінка	20	24	7/9/3	12



**Рис. 13.** Співвідношення властивостей позиційних приводів з врахуванням впливу структурних рішень. М1 – аналогове управління подачею рідини по факту досягнення заданої позиції; М2 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої позиції; М3.1 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції (привід з багатовіконним виконавчим пристроєм); М3.2 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції (привід з декількома вбудованими камерами); М3.3 – дискретне управління часом подачі рідини по факту досягнення заданої фіксованої позиції (привід з декількома зовнішніми камерами); М4 – дискретне управління порційною подачею рідини з фактом досягнення заданої позиції

для забезпечення максимально досяжних значень дискретності і точності позиціонування раціональною є структура М2, яка дозволяє за рахунок зменшення вимог до чистоти робочої рідини зменшити вартість привода приблизно на 20% в порівнянні зі структурою М1 (Рис. 13).

Слід зауважити, що наведені результати (Табл. 2, Рис. 13) є орієнтовними. Незважаючи на це, вони дозволяють оцінити вплив структури привода на кількісні показники кожної з властивостей і прогнозувати перспективний напрямок для розроблення ефективних позиційних приводів.

## Висновки

Аналіз схем відомих електрогідролічних позиційних приводів дозволив представити їх в узагальне-

ному вигляді. Показано, що особливості різних приводів полягають в будові блоку формування команд, структурне рішення якого ґрунтується на одному з визначених базових методів управління. З'ясовано основні фактори, які впливають на властивості приводів і запропоновано спосіб оцінювання властивостей приводів і спосіб оцінювання і порівняння структурних рішень. Для оцінки властивостей використана шкала балів  $-5 \dots 0 \dots 5$ , а для оцінки і порівняння структурних рішень використано сумарний бал, що показує ефективність застосування тієї або іншої структури привода для досягнення заданого комплексу властивостей. Отримані результати, які представляють кількісний взаємозв'язок між структурою привода і його властивостями, можуть бути використані для розробки нових ефективних технічних рішень.

## References

- [1] R. Dindorf and P. Wos, "Force and position control of the integrated electro-hydraulic servo-drive", in *Proc. 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. IEEE, 2019. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765986
- [2] E. Detiček and U. Župerl, "An intelligent electro-hydraulic servo drive positioning," *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 57, No. 05, pp. 394–404, 2011. doi: 10.5545/sv-jme.2010.081

- [3] Šimic, Ing Marko, and Ing Niko Herakovič. "High-response hydraulic linear drive with integrated motion sensor and digital valve control", in *Proc. 10th International Fluid Power Conference (10. IFK)*, Dresden: Technical University Dresden, pp. 49–58, 2016.
- [4] Z. Yaqin, "Study on a new adjustable hydraulic positioning system", in *Proc. 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*. IEEE, 2011, doi: 10.1109/MEC.2011.6025516
- [5] Dindorf Ryszard, and Piotr Woś, "Sensorless step positioning of hydraulic linear actuator", in *Proc. Czasopismo Techniczne*, Vol. 11, pp. 169–174, 2018. doi: 10.4467/2353737XCT.18.171.9427
- [6] M.A. Novik, Ju.M. Kucheruk, and V.V. Doroghanj, "Multi-positioning actuator", Ukraine Patent 90383, April 26, 2010.
- [7] M.A. Novik and V.Je. Didovecj, "Multi-positioning actuator", Ukraine Patent 63275, October 10, 2011.
- [8] O.Y. Drachev, D.A. Rastorghuev and A.O. Drachev, "Electric hydraulic actuator", Russia Patent 2474731, February 10, 2013.
- [9] O.V. Uzunov, O.S. Ghalecjkyj, and I.V. Nochnichenko, "Positioning actuator", Ukraine Patent 100603, January 10, 2013.
- [10] B. Wang, H. Ji, and R. Chang, "Position control with ADRC for a hydrostatic double-cylinder actuator," *Actuators*, Vol. 9, No. 4, pp. 112, 2020. doi: 10.3390/act9040112
- [11] S.B. Choi, J.K. Yoo, M.S. Cho, and Y.S. Lee, "Position control of a cylinder system using a piezoactuator-driven pump," *Mechatronics*, Vol. 15, No. 2, pp. 239–249, 2005. doi: 10.1016/j.mechatronics.2004.07.007

## Quantitative evaluation of properties of structural solutions of electrohydraulic positioning actuators

Qiang Li, O. Uzunov

**Abstract.** Based on the analysis of known electro-hydraulic positioning actuators, its main working principles and generalized scheme were given, which includes: control unit, command formation unit for reaching given position, executive mechanism, position sensor, and hydraulic energy supply unit. It was determined that the main difference between the actuators lies in the command formation unit, the structural solutions of which are based on four control methods: analog control of fluid supply to reach preset position; discrete control the time of fluid supply to reach preset position; discrete control of fluid supply to reach preset fixed position; discrete control of portioned fluid supply to reach preset position. For the specified command formation units based on the different control methods of actuators, its working cyclograms and the graphs that reflect the dependence of the output flow on the control signal were given. A list of the main properties of positioning actuators was given. Factors and achievable quantitative property indicators were also given for the structural solutions of actuators with each control method. A criterion of effectiveness evaluation for actuators' structure solutions was proposed. For various structural solutions of actuators, the influence of the main parameters on their effectiveness in achieving the basic properties was analysed. A quantitative evaluation was proposed, which made it possible to reveal the relationship between the structure and properties of the actuators. The results were presented in a diagram which shows the relationship between properties in positioning actuators, taking into account the influence of structural solutions. The obtained results can be used to develop new effective positional actuators.

**Keywords:** electrohydraulic positioning actuators, property, structure, control methods, evaluation of properties.