

О.М. Литвяк<sup>1</sup>, С.В. Комар<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, Харків

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРУЮЧОГО КЛАПАНА ТИПУ “СОПЛО-ЗАСЛІНКА” ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

*Представлені результати експериментальних досліджень керуючого клапана типу “сопло-заслінка”, що використовується в насосі-регуляторі НР-3. В результаті аналізу експериментальних статичних характеристик виявлені нехарактерні нелінійні ділянки. Нелінійність характеристики пов’язана з якістю виготовлення керуючого клапана і може призводити до неправильної роботи насоса-регулятора і в цілому системи автоматичного керування двигуном. Показано, що статична характеристика керуючого клапана може слугувати підтвердженням якості виготовлення клапана на ранніх стадіях виробництва.*

**Ключові слова:** система автоматичного керування, керуючий клапан, гідравлічний привід, статична характеристика клапана, регулятор обертів, насос-регулятор НР-3.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У гідроприводах і гідромеханічних системах автоматичного керування (САК) часто застосовуються керуючі клапани типу “сопло-заслінка” [1]. Широке використання дані елементи отримали внаслідок високої чутливості і великих коефіцієнтів підсилення. Високий коефіцієнт підсилення керуючого клапана є одночасно і перевагою і недоліком. Недолік полягає перш за все в тому, що незначні дефекти клапана позначаються на його характеристиках, а потім, багаторазово посилені, передаються на виконавчі елементи. В результаті порушується лінійність характеристик гідроприводів і робота системи автоматичного керування в цілому. Так, при дослідженні статичних характеристик регулятора обертів вільної турбіни (РОВТ) агрегатів типу НР-3 в ряді випадків було відзначено їх нелінійне протікання. Лінійний характер статичної характеристики РОВТ багато в чому визначається лінійністю характеристики керуючого клапана. У той же час, при виготовленні керуючих клапанів перевіряють тільки витрату через клапан в закритому положенні (початкова точка), а статичні характеристики не визначаються. Таким чином, існує проблема визначення статичних характеристик керуючих клапанів у всьому діапазоні режимів роботи [2–3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Несталі режими роботи авіаційних газотурбінних двигунів (запуск, розгін, скидання обертів) розглядаються виключно з точки зору роботи паливних автоматів запуску і автоматів приймальності. В [4] викладена теорія і методи розрахунку неусталених

режимів роботи авіаційних газотурбінних двигунів в земних і польотних умовах. Розглянуто зовнішні та внутрішні фактори, що впливають на динаміку двигунів різних схем (одновальних і багатовальних ТРД, ТРДД, ТВД), можливості застосування теорії подібності при аналізі перехідних процесів і принципи раціонального регулювання ГТД на перехідних режимах. Аналіз динаміки роботи систем автоматичного регулювання на сталих режимах не розглядається.

Динамічний аналіз роботи систем автоматичного керування авіаційними двигунами виконується з умови лінійних характеристик всіх її елементів [5]. Нелінійне керування розглядається в [6], як автономна система керування клапанами перепуску повітря з проточної частини компресора.

Проектування систем автоматичного керування авіаційних ГТД також здійснюється за умови лінійності характеристик регуляторів [7].

В [8] показані розрахункові характеристики керуючих клапанів типу “сопло-заслінка”. Однак при гідравлічних розрахунках керуючих клапанів їх характеристики також беруться лінійними. При гідравлічних розрахунках зазвичай використовують довідниковий посібник [9], який дозволяє досить коректно розрахувати гідравлічний опір при заданому режимі руху рідини. В [8] надані результати, які дозволяють скоректувати дані, отримані за рекомендаціями [9], стосовно до підсилювачів типу “сопло-заслінка”. Однак отримані дані можна використати тільки для подальших розрахунків. Оцінити ж роботу керуючого клапана в складі САК – не представляється можливим.

**Мета статті** – удосконалення діагностики якості виготовлення керуючих клапанів типу “сопло-заслінка” на ранніх стадіях виробництва насосів-регуляторів, а також отримання нових даних, що дозволяють враховувати реальні характеристики елементів автоматики при математичному моделюванні динаміки агрегатів і силових установок вертольотів.

## Виклад основного матеріалу

Ставиться завдання виконати експериментальне дослідження статичної характеристики керуючого клапана регулятора обертів вільної турбіни агрегату типу НР-3.

Клапан забезпечує керування гідроприводом основної дозуючої голки (ОДГ) насоса регулятора.

Принципова схема керуючого клапана показана на рис. 1.

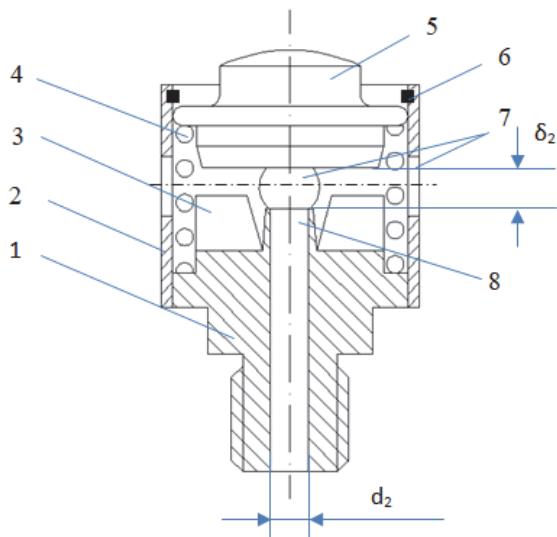


Рис. 1. Клапан “сопло-заслінка”

- 1 – жиклер; 2 – сорочка; 3 – пелюстки;  
4 – стабілізуюча пружина; 5 – плоский клапан;  
6 – стопорне кільце; 7 – зливні отвори;  
8 – сопло

При зміні  $\delta_2$  положення клапана 5 над соплом 8, тиск в керованій порожнині гідроприводу змінюється і основна дозувальна голка зміщується, змінюючи витрату палива в камеру згоряння двигуна.

У нижньому положенні плоский клапан впирається в пелюстки, але сопло жиклера при цьому не перекривається. Площа протікання мінімальна і витрата через жиклер мінімальна. Для гарантованої витрати в цьому положенні пелюстки зроблені з заданим перевищенням над соплом. Технологічно це виконується підрізкою сопла з подальшим його притиранням. Мінімальна витрата регламентується технічними умовами.

У верхньому положенні плоский клапан впирається в стопорне кільце 6. Затягування стабілізуючої пружини 4 мінімальне. У верхньому положенні клапана витрата через жиклер максимальна. Максимальна витрата не регламентується.

Під час роботи клапан може займати проміжне положення від положення “повністю закрито” до положення “повністю відкрито”. Ставиться завдання визначити статичну характеристику керуючого клапана у всьому діапазоні його положень.

Під статичною характеристикою керуючого клапана будемо розуміти тиск в керованій порожнині гідроприводу основної дозуючої голки агрегату насоса-регулятора НР-3 при зміні положення плоского клапана.

Оскільки на реальному агрегаті таку характеристику зняти важко, то було розроблено спеціальне пристосування, що дозволяє зняти таку характеристику на модельному стенді. Розрахункова схема пристосування представлена на рис. 2.

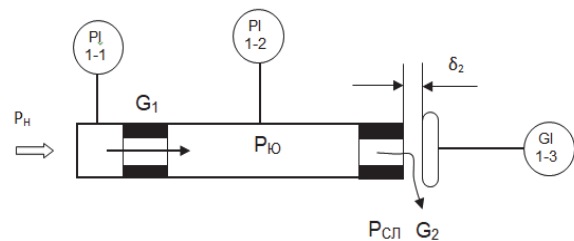


Рис. 2. Розрахункова схема пристосування для визначення статичної характеристики керуючого клапана

- $P_H$  – тиск на вході;  $P_{Ю}$  – редукований тиск;  
 $P_{СЛ}$  – тиск зливання;  $PI$  – індикатор тиску;  
 $GI$  – індикатор переміщення

На рис. 3 показані експериментальні статичні характеристики двох керуючих клапанів регулятора обертів вільної турбіни агрегату типу НР-3.

Статичні характеристики клапанів визначалися як на прямому ході клапана (відкриття, суцільні лінії), так і на зворотному ході клапана (закриття, штрихові лінії). Тиск на вході в пристосування для зняття статичної характеристики підтримувався постійним і рівним  $10 \text{ кг/см}^2$ . Тиск зливу під час проведення експерименту дорівнював атмосферному. Плоский клапан переміщався спеціальним гвинтом, що має різьбу з дрібним кроком. Положення клапана фіксувалося мікрометром.

Як було виявлено в результаті проведення досліджень, дійсні статичні характеристики керуючих клапанів можуть сильно відрізнятися один від одного в залежності від якості їх виготовлення.

Клапан 1 (рис. 3) має досить гладку статичну характеристику у всьому діапазоні переміщень плоского клапана.

Клапан 2 має на статичній характеристиці явно виражену нелінійну ділянку (дефект), який може проявлятися, як “розрив” характеристики регулято-

ра обертів вільної турбіни насоса-регулятора НР-3 в області (0,3...0,4) мм ходу клапана  $\delta_2$ .

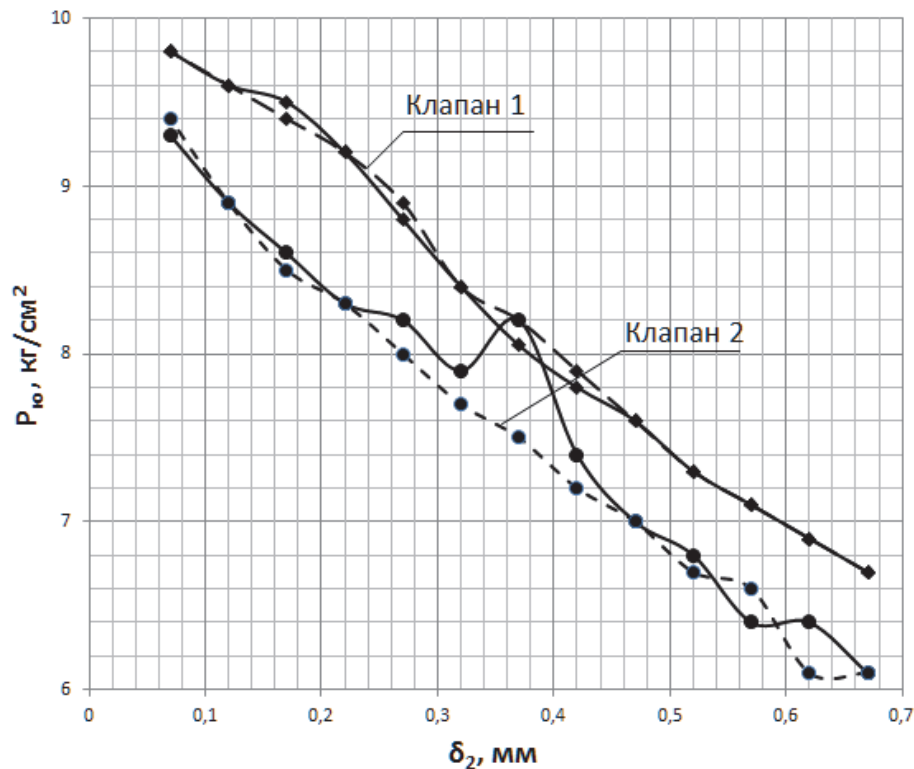


Рис. 3. Статичні характеристики керуючого клапана “сопло-заслінка”

Різде збільшення тиску в керованій порожнині основної дозуючої голки насоса-регулятора неминуче призведе до відповідного різкого збільшення (кидка) витрати палива в камеру згоряння двигуна з подальшим збільшенням обертів вільної турбіни. Такий нехарактерний вплив керуючого клапана призводить до розвитку автоколивань обертів вільної турбіни. В результаті фіксується несправність, яка проявляється як сталі коливання параметрів двигуна.

### Висновки

В результаті проведення експериментальних досліджень була розроблена конструкція пристосування для зняття статичних характеристик керуючих клапанів агрегатів типу НР-3. Розроблено методику і

протокол зняття статичної характеристики керуючого клапана. Отримано експериментальні характеристики керуючого клапана регулятора обертів вільної турбіни.

Показано, що дані характеристики можуть бути підставою для підтвердження якості виготовлення керуючих клапанів на ранніх стадіях виробництва. Дано рекомендації з аналізу експериментальних статичних характеристик керуючих клапанів.

Представлені результати досліджень можуть бути враховані при проектуванні керуючих клапанів типу “сопло-заслінка”, а також використані при математичному моделюванні динаміки системи автоматичного регулювання частоти обертання вільної турбіни існуючих насосів-регуляторів типу НР-3.

### Список літератури

1. Агрегаты систем авиационных двигателей / С.В. Безуглый, А.И. Скрипка, Б.Г. Нехорошев, Б.Я. Хмелик. – Харьков: ХАИ, 2007. – 87 с.
2. Бочкарев С.К. Испытания авиационных двигателей / С.К. Бочкарев. – М.: Машиностроение, 2009. – 504 с.
3. Идентификация систем управления авиационных газотурбинных двигателей / Под редакцией д-ра техн. наук В.Т. Дедеша. – М.: Машиностроение, 1984. – 193 с.
4. Сосунов А.В. Неустойчивые режимы работы авиационных газотурбинных двигателей / А.В. Сосунов, Ю.А. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1975. – 215 с.

5. Штода А.В. Автоматика авиационных двигателей /А.В. Штода. – М.: ВВИА им.проф. Н.Е. Жуковского, 1968. – 458 с.
6. Маркианов Л.И. Автоматика авиационных газотурбинных двигателей / Л.И. Маркианов. – Харьков: ХВВАИКУ, 1984. – 325 с.
7. Турбовальный двигатель ТВ3-117. Руководство по технической эксплуатации. Книга 2. – 1986. – 204 с.
8. Раздолин М.В. Агрегаты воздушно-реактивных двигателей / М.И. Раздолин, Д.Н. Сурнов. – М.: Машиностроение, 1973. – 351 с.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик, под ред. М.О. Штейнберга. – Изд. 3-е, доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
10. Экспериментальное исследование колебательных процессов при испытаниях турбовинтового двигателя на гидротормозной установке /А.Г. Гимадиев, В.А. Букин, П.И. Грешняков, А.В. Уткин // Материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. 22-24 июня 2016 г. Ч. 1. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет. – 2016. – С. 20-21.

## References

1. Bezuglyj, S.V. Skripka, A.I., Nehoroshev, B.G. and Hmelik B.Ya. (2007), “Agregaty sistem aviacionnyh dvigatelej” [Aircraft engine systems], KhAI, Kharkov, 87 p.
2. Bochkarev, S.K. (2009), “Ispytaniya aviacionnyh dvigatelej” [Aircraft Engine Tests], Mashinostroenie, Moscow, 504 p.
3. Dedesh, V.T. (1984), “Identifikaciya sistem upravleniya aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej” [Identification of control systems for aircraft gas turbine engines], Mashinostroenie, Moscow, 193 p.
4. Sosunov, A.V. and Litvinov, Yu.A. (1975), “Neustanovivshiesya rezhimy raboty aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej” [Unsteady operating modes of aircraft gas turbine engines], Mashinostroenie, Moscow, 215 p.
5. Shtoda, A.V. (1968), “Avtomatika aviacionnyh dvigatelej” [Automation of aircraft engines], VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, Moscow, 458 p.
6. Markianov, L.I. (1984), “Avtomatika aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej” [Automation of aircraft gas turbine engines], KhVVAIKU, Kharkov, 325 p.
7. (1986), “Turbovalnyj dvigatel TV3-117. Rukovodstvo po tehnicheckoj ekspluatácii. Kniga 2” [Turboshaft engine TV3-117. Technical operation manual. Book 2], 204 p.
8. Razdolin, M.V. and Surnov, D.N. (1973), “Agregaty vozdušno-reaktivnyh dvigatelej” [Aircraft Jet Units], Mashinostroenie, Moscow, 351 p.
9. Idelchik, I.E. (1992), “Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam” [Hydraulic Resistance Reference], Mashinostroenie, Moscow, 672 p.
10. Gimadiev, A.G., Bukin, V.A., Greshnyakov, P.I. and Utkin, A.V. (2016), “Eksperimentalnoe issledovanie kolebatelnyh processov pri ispytaniyah turbovintovogo dvigatelya na gidrotormoznoj ustanovke” [An experimental study of oscillatory processes in tests of a turboprop engine in a hydraulic brake installation], *Materialy dokladov mezhdunar. nauch.-tehn. konf. 22-24 iyunya*, Samarskij nacionalnyj issledovatel'skij universitet, Samara, pp. 20-21.

Надійшла до редколегії 12.09.2019

Схвалена до друку 19.10.2019

### Відомості про авторів:

#### Литвяк Олександр Миколайович

кандидат технічних наук доцент  
доцент кафедри  
Національного університету  
цивільного захисту України,  
Харків, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-0242-1859>

#### Комар Сергій Володимирович

кандидат технічних наук доцент  
старший викладач кафедри  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8961-2614>

### Information about the authors:

#### Oleksandr Litvyak

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer  
of National University  
of Civil Protection of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-0242-1859>

#### Sergii Komar

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Senior Instructor of the Department  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8961-2614>

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
УПРАВЛЯЮЩЕГО КЛАПАНА ТИПА “СОПЛО-ЗАСЛОНКА”  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

А.Н. Литвяк, С.В. Комар

*Представлены результаты экспериментальных исследований управляющего клапана типа “сопло-заслонка”, который используется в насосе-регуляторе НР-3. В результате анализа экспериментальных статических характеристик выявлены нехарактерные нелинейные участки. Нелинейность характеристики связана с качеством изготовления управляющего клапана и может приводить к неправильной работе насоса-регулятора и системы автоматического управления двигателем. Показано, что статическая характеристика управляющего клапана может явиться подтверждением качества изготовления клапана на ранних стадиях производства.*

**Ключевые слова:** система автоматического управления, управляющий клапан, гидравлический привод, статическая характеристика клапана, регулятор оборотов, насос-регулятор НР-3.

**EXPERIMENTAL STUDY OF CHARACTERISTICS OF THE CONTROL VALVE  
TYPE “NOZZLE-DAMPER” OF HYDRAULIC AUTOMATIC  
CONTROL SYSTEMS**

O. Lityyak, S. Komar

*In hydraulic actuators and hydromechanical automatic control systems, control valves of the “nozzle-damper” type are often used. These elements are widely used due to reliability, as well as high sensitivity and high gain. The high gain of the control valve is both an advantage and a disadvantage. The disadvantage is primarily that minor valve defects affect its characteristics, and then, repeatedly reinforced, are transmitted to the actuators. As a result, the linearity of the hydraulic drive characteristics and the operation of the automatic control system as a whole are violated. Therefore, it is very important to identify deficiencies in the early stages of production before installing the valve in the unit.*

*The paper presents the results of experimental studies of a control valve of the type “nozzle-damper, which is used in the pump-regulator НР-3. Previously, such studies have not been conducted. In the manufacture of control valves, only the flow rate through the valve in the closed position is checked, which gives only one characteristic point. The developed special device allows you to remove the static characteristic of the valve in the entire range of its operation, from a fully closed position to a fully open one. The pressure in the control cavity of the hydraulic actuator was taken as a measured parameter for constructing the characteristic, the valve was moved with a special screw with a small thread pitch, and its position was fixed with a micrometer.*

*An analysis of the very first experimental static characteristics revealed uncharacteristic non-linear sections in the range of intermediate valve positions. The non-linearity of the characteristic is associated with the quality of manufacture of the control valve and can lead to improper operation of the pump regulator, in particular, to casts of an adjustable parameter. Thus, it is shown in the work that the static characteristic of the control valve can serve as confirmation of the quality of valve manufacturing in the early stages of production. In addition, it can be used to study the static and dynamic characteristics of automatic control systems in mathematical modeling of their work.*

**Keywords:** automatic control system, control valve, hydraulic actuator, valve static response, speed controller, pump-controller НР-3.