

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ГІДРОПРИВОДІВ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

Levchenko O.
The National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

IMPROVING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC DRIVES IN CYCLIC SYSTEMS

Розглянуто основні методи регулювання продуктивності роботи гідروприводів циклічної дії та визначено їх переваги і недоліки. Визначено залежність ефективності роботи гідросистеми від способів регулювання насосних агрегатів та їх зв'язок з технологічним процесом роботи системи. Запропоновано структурний розподіл елементів гідравлічної системи з урахуванням режимів роботи пристроїв, які входять до її складу. В результаті запропоновано методику проведення аналізу роботи системи з метою визначення ефективного способу регулювання насосного агрегату в залежності від конкретної системи.

Ключові слова: регулювання, гідравлічна система циклічної дії, насосний агрегат, технологічний процес.

Вступ

Враховуючи складну економічну ситуацію в державі та світі і значне зростання вартості енергоносіїв, усе більш актуальним стає питання ефективного використання промислового обладнання [1, 2]. Так як значну частину промислових виробничих систем складають системи гідроприводів циклічної дії, то й питання підвищення ефективності таких систем є досить вагомим при вирішенні завдань економії енергоносіїв в цілому для всього виробництва [3]. Враховуючи значні енергетичні затрати при роботі технологічного обладнання в процесі виробництва, варіантом підвищення економічної ефективності роботи системи є безпосередньо підвищення ефективності роботи пристроїв гідроприводу, які входять до складу цієї системи. Більшість промислових виробництв використовує в технологічному циклі, в залежності від напрямку промисловості, від 5 до 85% гідравлічних пристроїв [4 – 6]. Проаналізувавши існуючі виробничі системи було виявлено неповне, з різних причин (недостатня кваліфікація проектувальників, відсутність потрібного обладнання, обмеження в часі та ін.) використання гідравлічного обладнання. Тому підвищення, наприклад, ефективності роботи гідравлічної частини системи на 10-30% дасть змогу зменшити затрати на експлуатацію автоматичної системи в цілому на 3-15%, що в грошовому еквіваленті для великих промислових підприємств може бути досить вагомим і потрібним результатом.

Постановка задачі

Визначити переваги та недоліки основних методів регулювання роботи гідравлічних систем та можливість їх комбінування. Запропонувати структурний розподіл пристроїв гідравлічної системи у відповідності до режимів їх роботи. Визначити можливість підвищення енергетичної ефективності систем промислового гідроприводу шляхом узгодження характеристик насосних агрегатів з параметрами технологічного циклу роботи системи приводів. Запропонувати методику проведення аналізу роботи системи для вибору ефективного способу регулювання.

Метою роботи є визначення напрямків щодо зменшення рівня енергетичних втрат при роботі систем гідроприводів циклічної дії.

Дослідження

Енергетична ефективність більшості промислових гідравлічних систем залежить, насамперед, від двох чинників – схемного рішення і типу насосного агрегату та режимів роботи виконавчих пристроїв, тобто від таких параметрів, як зміна затраченої та корисної витрати робочої рідини за період одного робочого циклу (1) та функція змін тиску в системі та для кожного виконавчого пристрою за той самий проміжок часу (2).

$$Q_{зат} = f(t_{од. циклу}), Q_{кор} = f(t_{од. циклу}), \quad (1)$$

де:

$Q_{зат}$ – затрачена витрата робочої рідини, тобто витрата створена насосною станцією;

$Q_{кор}$ – корисна витрата робочої рідини, тобто витрата спожита виконавчими пристроями;

$t_{од. циклу}$ – тривалість одиничного циклу роботи гідравлічної системи.

$$P_{сис} = f(t_{од. циклу}), P_{вук.пр.} = f(t_{од. циклу}), \quad (2)$$

де:

$P_{сис}$ – тиск в системі, створюваний насосною станцією;

$P_{вук.пр.}$ – тиск в виконавчому пристрої, необхідний для виконання технологічної або експлуатаційної операції.

Відомо багато підходів до зменшення енерговитрат в системах гідроприводу. Наприклад, в гідроприводах, які працюють нетривало, використовують схеми з розвантаженням насоса від тиску. Завдяки цьому зменшуються експлуатаційні витрати, збільшується ККД системи та підвищується довговічність насосного агрегату.

На практиці поширено ряд способів узгодження роботи насосного агрегату та системи приводів: дроселюванням, розвантаженням через розподільник, використанням регульованих насосів з різними типами регуляторів (регулятор витрати, регулятор тиску, регулятор тиску і витрати, регулятор потужності та ін.), використанням гідроаккумуляторів, штучним «голодуванням» насоса, машинним регулюванням, ступінчастим регулюванням, введенням штучних витоків і т.д. Розглянемо основні з них та визначимо їх переваги та недоліки.

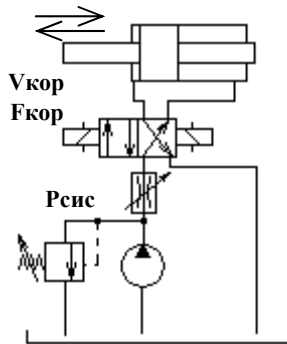


Рис. 1. Схема з дросельним регулюванням

Дросельне регулювання. Дросельне регулювання (рис.1) є найбільш дешевим варіантом створення гідравлічної системи, але водночас має найбільшу кількість недоліків, таких як значні енергетичні втрати, зменшення ресурсу роботи насосного агрегату та інших апаратів за рахунок постійного підтримання високого тиску в системі, нагрівання робочої рідини і як наслідок її прискорене старіння та деструкція та ін. З трьох існуючих способів дросельного регулювання, послідовного з дроселем на вході в гідродвигун, послідовним з дроселем на виході та паралельним підключенням дроселя найбільш ефективним є останній, хоча такий варіант має гіршу точність регулювання, потребує більшої кількості апаратів (окремо дросель і зворотній клапан), з'єднань, трубопроводів, тобто є більш дорогим.

Як показав практичний досвід роботи по створенню систем з дросельним регулюванням роботи насосного агрегату, використання цього типу регулювання є економічно доцільним лише в системах потужністю до 3-4 кВт.

Використання гідроаккумулятора. Використання гідроаккумуляторів (рис.2) є більш ефективним, так як існує можливість розвантаження насоса в

моменти часу, коли в системі не споживається витрата масла (зарядка аккумулятора) або для компенсації недостачі витрати насоса в певний момент роботи системи (розрядка). Але цей спосіб також має недоліки, такі як зниження рівня експлуатаційної безпеки гідравлічної установки, а також складність вибору аккумулятора для забезпечення необхідного режиму роботи гідравлічної системи відповідно до технологічного циклу. Це пов'язано з зміною тиску та витрати робочої рідини під час заряджання і розряджання гідроаккумулятора, що відповідно не дозволяє отримати необхідні значення експлуатаційних характеристик виконавчих пристроїв системи та необхідністю використання додаткового гідравлічного обладнання для підключення та забезпечення працездатності гідроаккумулятора.

Використання гідророзподільників. Широкого розповсюдження отримав спосіб розвантаження насосного агрегату через середню позицію розподільника. Він здійснюється в середній позиції шляхом з'єднання напірної лінії насоса безпосередньо через розподільник з баком. Цей спосіб є досить енергоефективним, але для регулювання роботою гідродвигуна та захисту насосного агрегату від небажаних режимів роботи потрібно використовувати додаткові пристрої регулювання. Додатково, при розвантаженні системи через середнє положення розподільника, значно погіршується динаміка виконавчих пристроїв за рахунок того, що система потребує часу на підняття тиску від нульового до номінального значення роботи приводу при переключенні від середнього до робочого положення золотника. Крім того, такі розподільники не можуть бути застосовані при паралельному підключенні декількох виконавчих пристроїв до однієї насосної станції, а при послідовному підключенні, під час одночасного спрацювання декількох виконавчих пристроїв, їх зусилля та крутні моменти значно зменшуються у співвідношенні і відповідності до експлуатаційних навантажень на приводах.

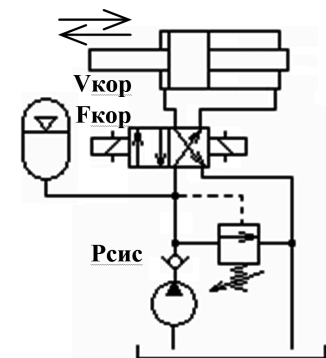


Рис. 2. Схема з використанням гідроаккумулятора

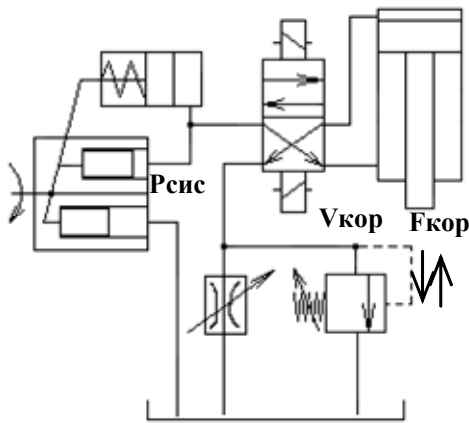


Рис. 3. Схема з об'ємним регулюванням

Об'ємне регулювання насосних агрегатів. Витрата насосів регулюється зазвичай шляхом лінійного або кутового переміщення елементів, за допомогою яких змінюється робочий об'єм насоса. Найбільш ефективним способом об'ємного регулювання роботи насосних агрегатів (рис. 3) є використання регуляторів (тиску, витрати, тиску і витрати, потужності та ін.) в конструкції насоса. Під час використання регуляторів, навіть при зміні споживання системою робочої рідини, тиск, створюваний насосом, завжди залишається постійним. Регулятори використовуються також для підтримки інших параметрів роботи системи і відповідно мають різні характеристики. Використання регуляторів дозволяє максимально підвищити ефективність роботи насосного агрегату, але не завжди дозволяє врахувати всі режими роботи пристроїв системи. Крім того регульовані насоси мають значно більшу вартість та значно менший ресурс і їх використання може призвести до створення ефективної системи, але високої вартості.

Введення штучного витoku. При роботі насоса в режимі споживання приводами робочої рідини, близького до нульового, можливий перегрів насоса за рахунок тепла, зумовленого енергетичними втратами потужності. Для забезпечення евакуації тепла з насоса передбачається деяка циркуляція рідини, яка досягається шляхом створення штучних витоків рідини. Цей спосіб регулювання дозволяє лише зменшити навантаження на насосний агрегат при відсутності споживання приводами робочої рідини і має недоліки аналогічні схемному рішенню з розвантаженням через розподільник.

Застосування штучного «голодування» насоса. В деяких випадках регулювання продуктивності здійснюється шляхом обмеження (дозування) кількості рідини, яка поступає в порожнину всмоктування насоса, тобто шляхом створення режиму штучного його «голодування». В результаті використання цього методу зменшується витрата енергії для приводу насоса, але такий режим призводить до виникнення кавітації та перегріву насоса та не враховуються особливості роботи системи.

Машинне регулювання. Машинне регулювання реалізується шляхом регулювання частоти обертання приводного двигуна гідралічного насоса. Цей варіант отримав широкого використання в мобільній гідрофікованій техніці, але має незначний діапазон регулювання витрати, за рахунок незначного діапазону регулювання частоти обертання валу двигунів внутрішнього згорання (800 – 3000 об/хв.). На сучасному етапі з появою частотного регулювання для найбільш розповсюджених трифазних асинхронних електродвигунів, які є приводами гідралічних насосів, стало можливим застосування цього способу регулювання і в стаціонарній гідралічній для систем, які не потребують високої динаміки при регулюванні витрати робочої рідини.

Ступінчасте регулювання. Цей спосіб регулювання отримав широкого розповсюдження в потужних гідралічних системах машинобудування, металургії, коксохімічних виробництвах, де в одній системі використовуються різні рівні витрати і тиску робочої рідини. Реалізується ступінчасте регулювання шляхом підключення в спільну магістраль декількох насосів з різною витратою або номінальним тиском. Недоліком такого способу є наявність більшої кількості гідралічної апаратури та неможливістю плавного регулювання експлуатаційних характеристик виконавчих пристроїв.

Комбіноване регулювання роботи насосного агрегату. Широкого використання при створенні гідросистем набуло комбіноване регулювання роботи насосного агрегату, тобто поєднання декількох способів. Достатньо широкого розповсюдження отримало, наприклад, об'ємно-дросельне регулювання. В такій системі регулювання відсутні втрати в переливному клапані і відповідно менші енергетичні втрати при роботі системи, але проектування таких систем є досить складним.

Програмоване керування розвантаженням насосного агрегату. Цей напрямок знаходиться у стані розвитку і має найбільші перспективи, що зумовлено початком широкого використання пропорційної техніки і гідралічних клапанів. Можливості цього напрямку складаються у використанні відомого за технологічним процесом циклу роботи приводів при укладанні програми керування засобами регулювання тиску і подачі насосного агрегату. Програмування клапанів дозволяє змінювати потужність приводу в термін прискореного руху, руху із сталою швидкістю, руху із відомим законом навантаження на привод. Хоча означений напрямок і обмежено характеристиками об'ємного і дросельного приводів, збереження навіть 2...3% потужності помножене на циклічну роботу системи з урахуванням ресурсу роботи гідралічних агрегатів, допоможе обрати енергозберігаючу схему при побудові системи.

Вибір варіанту узгодження характеристик системи приводів і енергосистеми починається на етапі проектування після побудови часових діаграм необхідної витрати та тиску. При побудові таких діаграм не виникає проблем, якщо система складається з декількох виконавчих пристроїв. Маючи цикл роботи та часові

характеристики такої системи легко побудувати діаграми сумарної витрати, тиску та потужності і відповідно визначити необхідний спосіб регулювання насосним агрегатом. В разі розробки системи, яка має значну кількість споживачів гідравлічної енергії отримання сумарних характеристик роботи системи є досить складною задачею, і відповідно вибір найбільш ефективного способу регулювання насосного агрегату може бути практично нездійснений. Але навіть маючи ці характеристики не завжди легко, а іноді навіть просто неможливо, вибрати найбільш ефективний спосіб регулювання насосним агрегатом з врахуванням особливостей його використання. Системи з великою кількістю виконавчих пристроїв, які працюють з різними рівнями тиску протягом одного робочого циклу мають досить складні характеристики для однозначного вибору. Тому використання стандартно існуючої системи регулювання не є найбільш вдалим і виникає потреба пошуку інших способів і методик для вирішення цих задач.

Для більш швидкого та легкого проведення вибору типу системи регулювання насосним агрегатом, а також комбінування систем, потрібно провести певну систематизацію обладнання та пристроїв, які використовуються в якості як споживачів гідравлічної енергії, так і джерел енергії, в залежності від режимів їх роботи. Це потрібно для того, щоб маючи певний набір блоків з типовим обладнанням, кожний з яких має конкретне застосування, можна було створити гідравлічну систему будь-якої складності.

Перший рівень розподілу обладнання гідросистем пропонується проводити відповідно до способу перетворення енергії. І в цьому випадку можна запропонувати дві складові або рівня (рис.4):

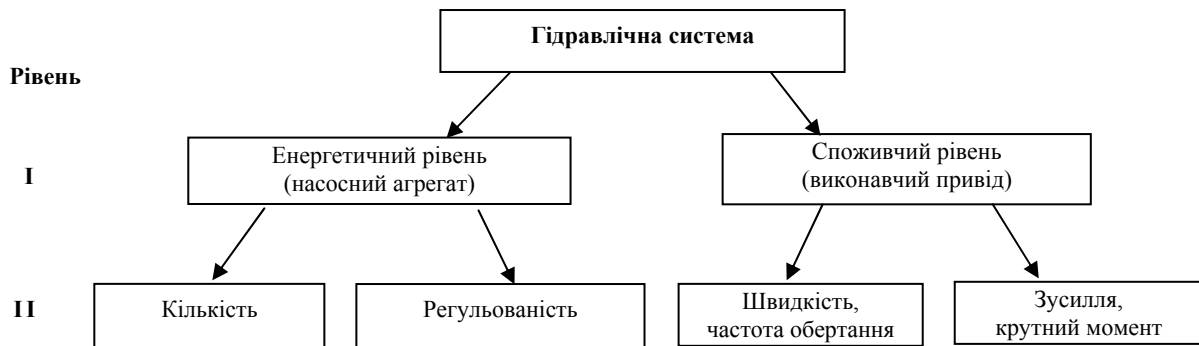


Рис. 4. Структурна схема гідравлічної системи

1. **Енергетичний рівень** – пристрої, які перетворюють механічну або інші види енергії в гідравлічну, тобто джерела гідравлічної енергії (насоси).

2. **Споживчий рівень** – пристрої, які перетворюють гідравлічну енергію в усі інші види енергії, тобто споживачі гідравлічної енергії (гідроциліндри, гідромотори, поворотні гідромотори та ін.).

Далі відповідно до такого поділу пропонується провести розподілення пристроїв кожного рівня на блоки в залежності від їх технічних характеристик та призначення в технологічному циклі.

Розподіл пристроїв енергетичного рівня можна провести в залежності від рівнів тиску, який споживається в системі, кількості та можливості регулювання, наприклад система з 2-ма нерегульованими насосами або система з 3-ма регульованими насосами.

Споживчий рівень може мати більшу кількість стандартних блоків так як використовується більша кількість пристроїв і вони можуть мати більшу кількість режимів роботи (рис. 5).

Наприклад:

1. Пристрої з високою швидкістю руху та незначним зусиллям в процесі переміщення робочого органу (повернення штока циліндра в вихідне положення для виконання технологічної операції);

2. Пристрої з високою швидкістю та середнім значенням зусилля в процесі переміщення робочого органу (попереднє притискання в пресі);

3. Пристрої з середньою швидкістю руху та незначним зусиллям в процесі переміщення робочого органу (операції транспортування);

4. Пристрої з низькою швидкістю руху та незначним зусиллям в процесі переміщення робочого органу (операції подачі заготовок);

5. Пристрої з низькою швидкістю та високим зусиллям в процесі переміщення робочого органу (пресування, зажим);

6. Пристрої зі змінними швидкістю та зусиллям та ін.

Такий структурний розподіл не завжди буде мати таку ж кількість структурних елементів. Їх кількість буде залежати від конкретної системи. Відповідно й значення швидкості та зусилля не мають певного

конкретного значення, а лише відображають рівні пристроїв споживчого рівня гідравлічної системи.

Як відомо, вибір системи регулювання насосним агрегатом проводиться після того, як отримано сумарну діаграму витрати роботи гідросистеми за проміжок часу рівний одиничному циклу роботи системи. Далі проводиться аналіз діаграми і відповідно вибір системи регулювання насосним агрегатом та їх кількість. Ефективність роботи такої системи в першу чергу залежить від компетенції інженера, який працює над вибором системи регулювання, що може призвести до вибору не найбільш ефективного способу.

Труднощів з вибором систем регулювання насосними агрегатами, які складаються з незначної кількості (5-10) виконавчих пристроїв немає, так як існують давно відомо і широко застосовувані способи регулювання

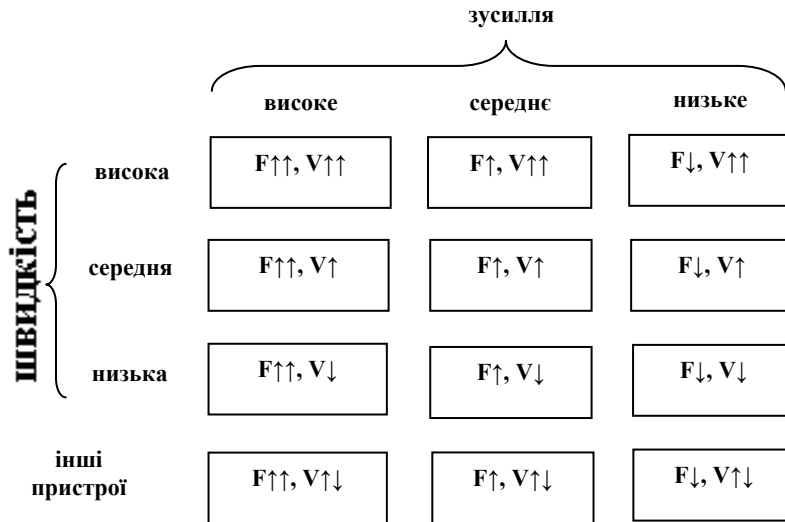


Рис. 5. Схема умовного поділу гідросистеми на складові

таких систем, для яких практичне використання показало їх найбільшу ефективність. У випадку ж створення систем зі значною кількістю приводів (50-100) однозначно вибрати спосіб регулювання насосними агрегатами та їх кількість є практично неможливим, так як досить складно отримати сумарні діаграми витрати роботи таких систем. Тому провівши попередньо структурних розподіл системи та отримавши витратні характеристики кожного елемента доволі просто отримати сумарні діаграми, знаючи час роботи кожного з цих елементів.

Далі, аналізуючи отримані діаграми проводиться вибір або існуючих способів регулювання насосними агрегатами або ж їх комбінація. Крім того, деякі гідравлічні пристрої, наприклад

пропорційні розподільники, можуть бути використані в дещо незвичній для себе якості.

Наприклад потрібно вибрати спосіб регулювання гідравлічної системи кувального маніпулятора. Потужність системи складає 512 кВт. В системі використовуються всього 3 гідравлічні пристрої, але які в процесі своєї роботи споживають 3 рівні тиску:

- 1 – тиск 50 атм, пристрій для повздовжнього та поперечного переміщення маніпулятора,
- 2 – тиск 150 атм, пристрій для подачі прокату та його утримання,
- 3 – тиск 250 атм, пристрій для кування прокату.

Аналогічно проводиться розподіл системи по витраті робочої рідини, яка потрібна для забезпечення відповідних швидкостей виконавчих пристроїв систем гідроприводів циклічної дії.

Такий структурний розподіл дозволить використовувати існуючі та нові пристрої керування системою, як пропорційні розподільники, вільнопрограмовані логічні контролери та інше обладнання. Також значний економічний ефект дасть регулювання насосним агрегатом з урахуванням логіки роботи пристроїв, які входять до складу системи відповідно до технологічного циклу, що є предметом подальших досліджень.

Висновки

1. Запропоновано схему умовного поділу виконавчих пристроїв за параметрами (F , V , t), які входять до складу багатопривідних автоматичних систем.
2. Запропоновано комбінування різних пристроїв та способів регулювання енергетичним рівнем при створенні багатопривідних автоматичних систем.
3. Обґрунтовано можливість підвищення ефективного способу регулювання насосними агрегатами за рахунок узгодження роботи пристроїв енергетичного та споживчого рівня в технологічному циклі.
4. Обґрунтовано можливість використання нетипових пристроїв для регулювання насосними агрегатами та залежність роботи насосних агрегатів від логіки роботи пристроїв, які входять до складу багатопривідних автоматичних систем.

Анотація. Рассмотрены основные методы регулирования производительности работы гидроприводов циклического действия и определены их преимущества и недостатки. Определена зависимость эффективности работы гидросистемы от способов регулирования насосных агрегатов и их связь с технологическим процессом работы системы. Предложено

структурное разделение элементов гидравлической системы с учетом режимов работы устройств, которые входят в ее состав. В результате предложено методику проведения анализа работы системы с целью определения эффективного способа регулирования насосного агрегата в зависимости от конкретной системы.

Ключевые слова: регулирование, гидравлическая система циклического действия, насосный агрегат, технологический процесс.

Abstract. Improving the efficiency of hydraulic drives in cyclic systems.

Purpose. To determine the advantages and disadvantages of the main methods to control hydraulic systems and the possibility of combining them.

Design/methodology/approach. It was considered the basic methods of productivity regulation of cycle action hydraulic devices and determined their advantages and disadvantages. It was detected the dependence of hydraulic system efficiency from the control methods of pumping units and their connection to the technological process of the system.

Findings. As a result it is proposed methodology for the analysis of the system in order to determine an effective method for regulating the pump unit, depending on the particular system.

Originality/value. It is found the structural division of hydraulic system units with taking into account the work modes of devices that are included in its composition.

Keywords: the regulation, the hydraulic system of cyclic operation, the pump unit, the technological process.

1. Губарев А.П. MAS-1.0 – упрощенное моделирование многоприводных гидропневматических систем циклического действия / Губарев А.П., Козинец Д.А., Левченко О.В. – Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідроліка і пневматика” №4(10), 2005. – с. 72-77.
2. Губарев А.П. Проверка логики функционирования цикловых систем гидравлических и пневматических приводов / Губарев А.П., Козинец Д.А., Левченко О.В. – Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідроліка і пневматика” №3, 2004. – с. 64-69.
3. Губарев А.П. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики: Учебное пособие.- К.: ИСМО, 1997.- 224с.
4. Губарев А.П. Причинно-следственная модель объектов гидропневмоавтоматики – особенности и свойства / А.П. Губарев -К.: НТУУ «КПИ», 1999.-107с.
5. Gubarev A.P. Object-controlled learning in machinery hydraulics, New Media and Telematic Technologies for Education in Eastern European Countries / Gubarev A.P., Uzunov A.V., Averina T.V. - Edited by P.Kommers, A.Dovgiallo, V.Petrushin and P.Brusilovsky.- Twente University Press, Enschede, The Netherlands, 1997p. 341-355.
6. Allgemeine Betriebs- und Wartungsanleitung für hydraulische Anlagen, 1995, Bosch Rexroth AG, Am Eisengieser, D-97816 Lohr am Main (vorm. Robert Bosch GmbH, Geschäftsbereich Hydraulik und Pneumatik).

REFERENCES

1. Gubarev A.P., Kozinec D.A., Levchenko O.V. MAS-1.0–uprowennoe modelirovanie mnogoprivodnyh gidropnevmaticheskikh sistem ciklicheskogo dejstvija (MAS-1.0 - simplified modeling multidrive hydropneumatic systems in cyclic operation). Vseukraїns'kij naukovo-tehnichnij zhurnal “Promislova gidravlika i pnevmatika” NO 4(10), 2005, pp. 72-77.
2. Gubarev A.P., Kozinec D.A., Levchenko O.V. Proverka logiki funkcionirovanija ciklovyh sistem gidravlicheskih i pnevmaticheskikh privodov (Checking the logic of the operation of cycle systems of hydraulic and pneumatic actuators). Vseukraїns'kij naukovo-tehnichnij zhurnal “Promislova gidravlika i pnevmatika” NO 3, 2004, pp. 64-69.
3. Gubarev A.P. Diskretno-logicheskoe upravlenie v sistemah gidropnevmoavtomatiki: Uchebnoe posobie (Discrete-logic control in systems of hydropneumoautomation: Textbook). Kyiv: ISMO, 1997, 224p.
4. Gubarev A.P. Prichinno-sledstvennaja model' obektov gidropnevmoavtomatiki – osobennosti i svojstva (The cause-and-effect model of objects of hydropneumoautomation - characteristics and properties). Kyiv: NTUU «KPI», 1999, 107p.
5. Gubarev A.P., Uzunov A.V., Averina T.V. Object-controlled learning in machinery hydraulics, New Media and Telematic Technologies for Education in Eastern European Countries / Edited by P.Kommers, A.Dovgiallo, V.Petrushin and P.Brusilovsky.- Twente University Press, Enschede, The Netherlands, 1997, pp. 341-355.
6. Allgemeine Betriebs- und Wartungsanleitung für hydraulische Anlagen, 1995, Bosch Rexroth AG, Am Eisengieser, D-97816 Lohr am Main (vorm. Robert Bosch GmbH, Geschäftsbereich Hydraulik und Pneumatik).