

УДК 621.22+004.94

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДРОСЕЛІВ ВЕРСТАТНИХ ГІДРОПРИВОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ САПР COSMOS FLO WORKS

Циба О.А., інж.,

Зима О.В., магістр,

Рубанов Л.Д., магістр

Черкаський державний технологічний університет

Тел. (0619) 42-04-42

Анотація – розглянуто особливості застосування комп'ютерного моделювання в процесі проектування і модернізації конструкцій гідравлічних дроселів нелінійного типу з використанням пакетів програм САПР Solid Works и COSMOS Flo Works. Наведені результати порівняльного аналізу роботи дроселів різних конструкцій.

Ключові слова – дросель, модернізація, комп'ютерне моделювання, САПР COSMOS Flo Works.

Постановка проблеми. В процесі проектування гідравлічної апаратури взагалі і дроселів зокрема багатофакторність впливу рідинного середовища не дає можливості чітко визначити конструкцію об'єкта проектування та його геометричні параметри. Складність розрахунків гідроапаратів зумовлена наявністю в них флуктуацій тиску та миттєвих швидкостей, виникнення турбулентності та відриву потоків, тощо. Тому розрахунки за традиційними методиками з використанням емпіричних коефіцієнтів дають досить посередній результат [1]. При розробці нових конструкцій проєктанти, найчастіше, використовують уже відомі технічні рішення і підходи. При цьому часто доводиться вносити зміни до проєкту вже після проведених фізичних випробувань, що збільшує вартість та тривалість процесу впровадження нових розробок.

Використання сучасних засобів комп'ютерного моделювання в процесі проектування значно скорочує його тривалість та підвищує якість роботи. Фізичні випробування об'єкта проектування лише підвищують точність розрахунків і досконалість його конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі математичні моделі та методики розрахунку гідросистем [2, 3] приводять математичний опис процесів, що виникають в потоці рідини чи газу, та алгоритми розрахунку динамічних характеристик гідроприводів з урахуванням нелінійності характеристик гідроапаратів.

Роботу гідравлічного дроселя нелінійного типу в основному визначає форма та варіант перекриття дроселюючого отвору [4]. Однак, часто допоміжні елементи гідродроселів суттєво змінюють прогнозовану картину руху потоку рідини всередині об'єкту і визначити цей вплив можливо лише в ході випробувань фізичної моделі емпірично чи шляхом комп'ютерного моделювання в ході проектування попередньо [5, 6, 7].

Формулювання мети та постановка задач. Метою роботи є вдосконалення методики проектування гідроапаратури за допомогою пакету САПР SolidWorks та COSMOS FloWorks на прикладі модернізації дроселя нелінійного типу ПГ77-12 з покращеними гідродинамічними характеристиками.

В процесі дослідження вирішувалося декілька задач:

- вивчення можливості використання САПР Cosmos Flo Works для комп'ютерного моделювання роботи дроселів гідроприводу нелінійного типу;
- визначення основних характеристик дроселя ПГ77-12 шляхом комп'ютерного моделювання та порівняння їх з паспортними даними виробника;
- дослідження впливу змінених елементів конструкції дроселя на основні його характеристики.

Виклад основного матеріалу. У проектуванні гідроприводів з дросельним регулюванням швидкості руху виконавчого органу обов'язково враховують, що при малих витратах (0,05...0,08 л/хв) відбувається зниження пропускної здатності дроселя через облітерацію та забруднення прохідного перерізу. Це значно погіршує експлуатаційні характеристики дроселя. Для усунення вказаного фактору крім якісної фільтрації масла необхідно: витримати мінімальне співвідношення периметру отвору до його площі; забезпечити мінімальні флуктуації тиску та миттєвої швидкості при дроселюванні; довжину дроселюючого отвору наблизити до діафрагменного типу.

Для дроселя нелінійного типу витрата визначається за формулою

$$Q = \mu f \Delta p^m \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт витрати; f – площа прохідного отвору; Δp – перепад тиску на дроселі; m – показник степеня; g – прискорення вільного падіння; γ – питома вага рідини.

В роботах проф. Е.М. Хаймовича та Р.Д. Аврутіна приводяться рекомендації, що для дросельних отворів діафрагменного типу з співвідношенням довжини до діаметра у межах $l/d \leq 0,5$ приймається: показник степеня $m \approx 0,5$; коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$. Теоретичне визначення цих величин за традиційною методикою досить неточне. Експериментальні дослідження гідродроселів показують значну розбіжність коефіцієнта витрати. Так, наприклад, при розробці конструкцій дроселів серії Г77 (ЭНИМС) [8] коефіцієнт витрат для кожного дроселя, незважаючи на те, що характер прохідного отвору у всіх випадках залишався ідентичним, коливався в діапазоні від 0,68 для Г77-31 до 0,86 для Г77-31В.

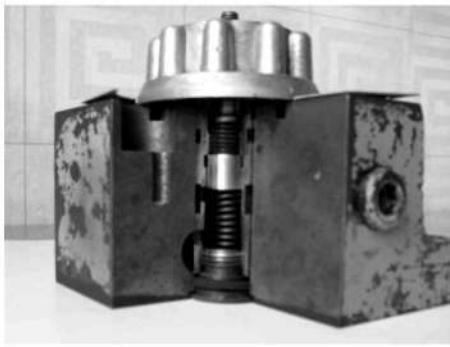
Показник степеня перепаду тиску m може бути визначений за конкретними відомими витратами та відповідними їм перепадами тиску

$$m = \frac{\lg Q_2 - \lg Q_1}{\lg \Delta p_2 - \lg \Delta p_1}, \quad (2)$$

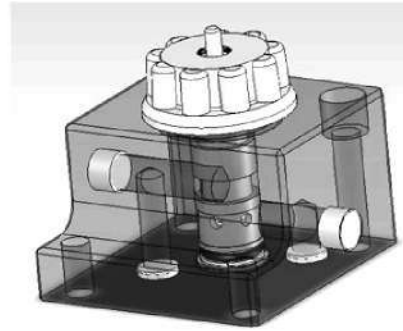
де Q_1 – витрата рідини при перепаді тиску Δp_1 ; Q_2 – витрата рідини при перепаді тиску Δp_2 .

При випробуваннях дроселів в залежності від конструкції показник степеня перепаду тиску m коливався у межах від 0,5 до 1 [8]. Визначено, що при значеннях $m \approx 1$ гідросистема дає максимально можливі зміни швидкості переміщення поршня при зміні навантаження, а при $m \approx 0,5$ – мінімальні. Таким чином, уточнення показника степеня m та визначення коефіцієнта витрати μ для нових конструкцій дроселів ще на стадії проектування дозволить підвищити точність роботи та якість перехідних процесів.

Об'єктом дослідження у приведеній роботі було вибрано дросель нелінійного типу ПГ77-12, як найбільш часто вживаний гідроапарат верстатного гідроприводу з відомими і випробуваними технічними характеристиками. Таким чином отримується можливість порівняння паспортних характеристик дроселя з результатами комп'ютерного моделювання створеної об'ємної моделі (рис.1) та оцінка адекватності роботи зазначеної САПР.



а)

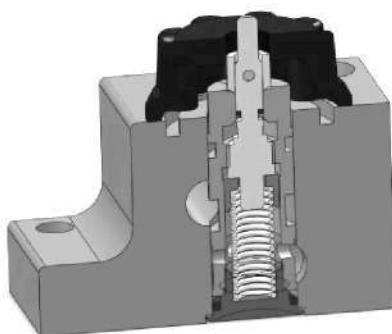


б)

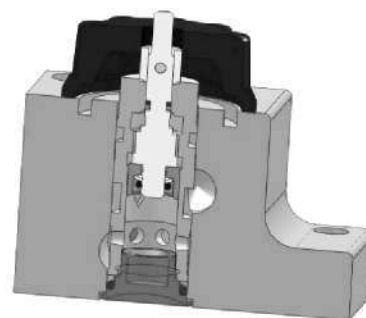
Рис. 1. Дросель типу ПГ77-12:
а – фото дроселя; б - об'ємна модель дроселя

В процесі аналізу конструкції дроселя типу ПГ77-12 одним з недоліків було виявлено наявність зворотної пружини спірального типу, що знаходиться на шляху руху рідини і є додатковим гідроопором зі змінним міжвитковим перерізом. В наслідок чого дросель працює менш стабільно на різних рівнях витрат.

Технічна пропозиція по модернізації приведеної базової конструкції дроселя полягає в застосуванні замість пружини спірального типу пружини тарілчастої з розміщенням її всередині втулки-дроселя (рис. 2). Внаслідок проведеної модернізації вплив зворотної пружини на гідродинамічні характеристики роботи дроселя має бути усуненим, що значно зменшить рівень турбулізації потоку, флуктуації основних характеристик та інтенсивність теплоутворення.



а)



б)

Рис. 2. Технічні пропозиції до модернізації:
а – дросель з спіральною пружиною (базовий варіант); б – дросель з тарілчастою пружиною (модернізований варіант)

Для апробації вказаних технічних пропозицій проводилося комп'ютерне моделювання гідродинамічних процесів всередині дроселя стандартної та зміненої конструкції з використанням відповідного програмного продукту. Пакет прикладних програм САПР Solid Works та COSMOS FloWorks призначений для моделювання гідро- та газодинамічних процесів всередині досліджуваних об'єктів на різних режимах роботи.

В основі дослідження математичної моделі покладено рівняння Нав'є-Стокса, що описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії середовища. Розрахункова програма використовує метод кінцевих об'ємів і значення незалежних змінних розраховуються в центрі комірок. В рамках підходу Ейлера в декартовій системі координат (x_i , $i=1,2,3$) рівняння матимуть вид [5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = S_i, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P)u_k + q_k - \\ - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H, \end{aligned} \quad (5)$$

де t – час, u – швидкість текучого середовища, ρ – густина середовища, P – тиск у середовищі, S_i – зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу, E – повна енергія одиничної маси середовища, Q_H – тепло, що виділяється тепловим джерелом в одиничному об'ємі, τ_{ik} – тензор в'язких зсувних напружень, q_i – дифузійний тепловий потік.

В процесі моделювання використовувалася методика однофакторного експерименту для напівзакритої щілини. Вихідними параметрами моделювання були задані:

вид робочого середовища – олива індустріальна ІПП-38;

температура робочого середовища – 50 °С;

температурний режим – адіабатичний;

режим руху – ламінарно-турбулентний;

тиск на вході дроселя – 20 МПа;

величина витрати на виході з дроселя в діапазоні 0 – 20 л/хв.

В результаті моделювання отримано для кожної фіксованої величини витрати: поле розподілу тисків; поле розподілу швидкостей; поле розподілу температур; поле розподілу ліній току. За отриманими даними було визначено: значення показника степеня m ; коефіцієнт

витрати μ ; перепад тиску на дроселі Δp ; приріст температури в дроселі ΔT .

Пакети прикладних програм SolidWorks та COSMOS FloWorks дають можливість досить наглядно представити результати моделювання обох конструкцій дроселів у виді кольорових картин полів та відповідних їм графіків і таблиць в програмі Microsoft Excel [5,6,7]. Наприклад: зображення поля розподілу тисків всередині дроселя (рис. 3) та графіки втрат тиску для різних витрат (рис. 4).

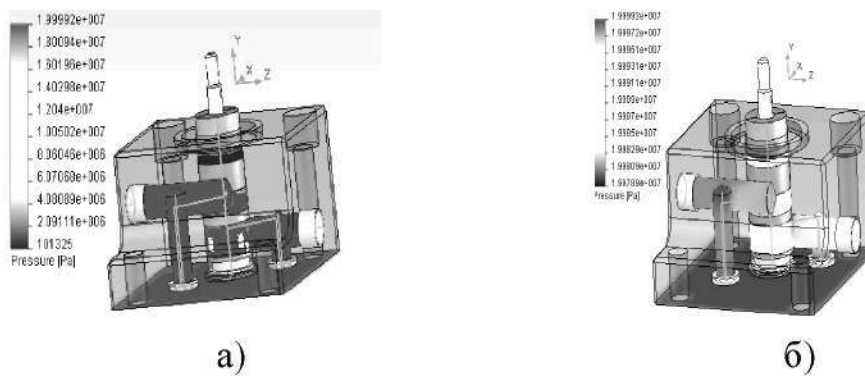


Рис. 3. Поле розподілу тисків:

а – для базового варіанту; б – для модернізованого варіанту

Співвідношення витрати та перепаду тиску (рис.4) є основною характеристикою роботи дроселя. Отримана залежність є квадратичною. Значення перепаду тиску близьке до 0,2 МПа при номінальній витраті 20 л/хв. відповідає паспортним даним дроселя і вказує на адекватність роботи математичної моделі САПР.

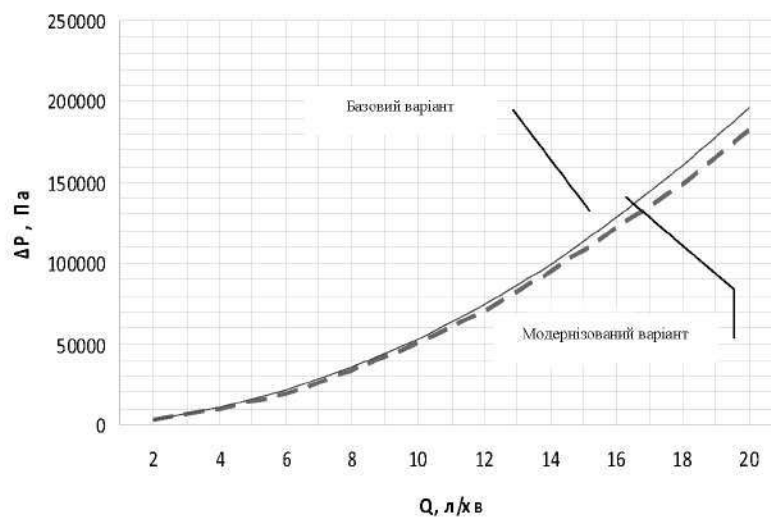


Рис. 4. Графіки втрат тиску в дроселях базового та модернізованого варіанту виконання

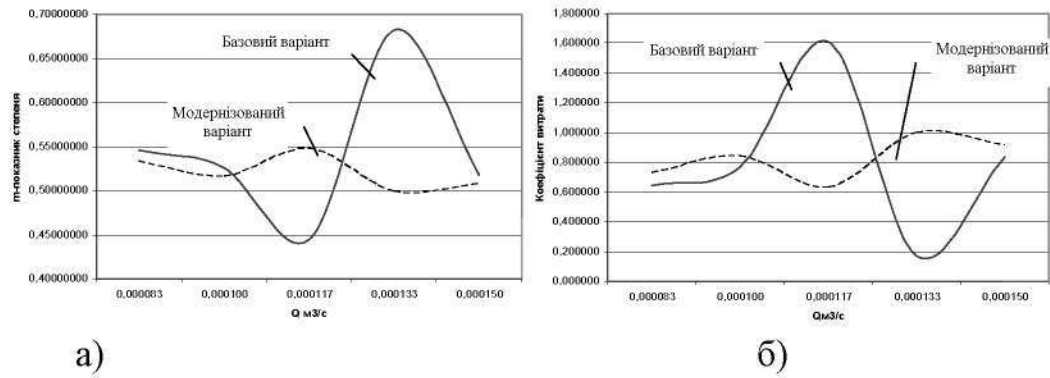


Рис. 5. Графіки показників степеня перепаду тиску m (а) та базового та коефіцієнтів витрати μ (б) базового та модернізованого варіанту виконання

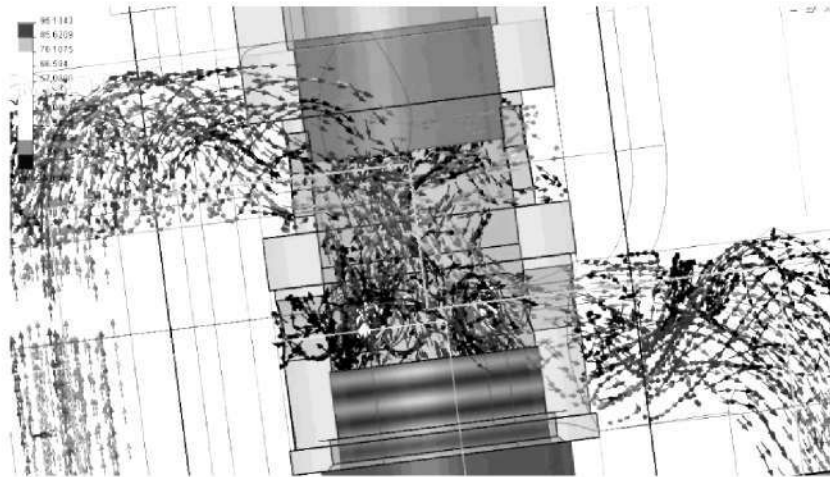


Рис. 6. Анімація ліній току з індикацією середньої швидкості руху рідини

Аналіз отриманих результатів дає підстави стверджувати, що гідродинамічні процеси всередині дроселя в цілому відповідають реальним процесам на практиці.

Порівняльний аналіз конструкцій дроселів показав, що модернізований варіантів на відміну від базового має:

- перепад тиску при номінальній витраті 20 л/хв. менший на 6,77 %;

- показник перепаду тиску m більш характерний для діафрагменного типу дроселя і має менший рівень флуктуації на 79,5 % (рис.5,а);

- коефіцієнт витрати збільшився на 2,3 % та має менший рівень флуктуації на 74,5 % (рис.5,б);

- потужність теплоутворення зменшилася на 8,6 %.

Отримані результати можуть бути пояснені усуненням непродуктивної зони вихроутворення, що створювалася спіральною пружиною на шляху руху дроселюючого потоку.

Висновки.

1. Використання САПР SolidWorks та COSMOS FloWorks для створення об'ємних моделей гідроапаратури взагалі та дроселів зокрема, а також моделювання гідродинамічних процесів всередині їх, значно прискорює процес проектування гідроприводів за рахунок автоматизації розрахунків основних параметрів та візуалізації їх результатів.

2. Можливості зазначеної САЕ системи, дозволяють змінювати геометрію моделі в процесі проектування з метою пошуку найбільш оптимальної конструкції за заданими параметрами.

3. Візуалізація полів тиску, швидкості, температур та ліній току (рис. 6) дає змогу виявити непродуктивні зони в потоці рідини, де показник степеня перепаду тиску та коефіцієнт витрати мають значну нестабільність.

Література

1. Справочник по гидравлике / [Под редакцией В.А. Большакова]. – Киев: Высшая школа, 1977. – 280 с.
2. *Немировский И.А.* Расчет гидроприводов технологических машин / *И.А. Немировский, Н.Г. Снисарь.* – К. : Техника, 1992. – 181 с.
3. Гидравлика и нагнетатели: Учеб. пособие / [*А.М. Грабовский, О.Н. Цабиев*]. – К.: УМК ВО, 1992. – 288 с.
4. Гидропривод. Основы и компоненты: Учебный курс, том 1 / [*Х. Экснер, Р. Фрейтаг и др.*]. – Бош Рексрот АГ – Эрбах, 2003. – 320 с.
5. *Алямовский А.А.* Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике / *А.А. Алямовский и др.* – Петербург: БХВ – Петербург, 2005. – 800 с.
6. *Циба О.А.* Моделювання гідродинамічних процесів в місцевих опорах гідросистем / *О.А. Циба, Д.С. Шепілов* // Вісник ЧДТУ. – 2008. – №1. – С. 78.
7. *Веретільник Т.І.* Компютерне моделювання роботи кавітаційного реактора з використанням засобів САПР Solid Works / *Т.І. Веретільник, О.А. Циба, М.О. Щербина* // Промислова гідраліка і пневматика. – 2010. – №3(29) – С. 75 – 80.
8. Объемные гидроприводы (вопросы проектирования) / [Богданович Л.Б.]. – К. : Техника, 1971. – 172 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДРОССЕЛЕЙ
СТАНОЧНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ С ПОМОЩЬЮ
САПР COSMOS FLO WORKS**

Цыба А.А., Зима А.В., Рубанов Л.Д.

Аннотация – рассмотрены особенности применения компьютерного моделирования в процессе проектирования и модернизации конструкций гидравлических дросселей нелинейного типа с использованием пакетов программ САПР SolidWorks и COSMOS FloWorks. Приведены результаты сравнительного анализа работы дросселей различных конструкций.

**MODELING HYDRAULIC PROCESSES AT DESIGNING
THROTTLES OF MACHINE HYDRAULIC ACTUATORS WITH
CAD COSMOS FLO SOFTWARE**

A. Tsyba, A. Zima, L. Rubanov

Summary

The features of application of computer design are considered in the process of planning and modernization of constructions of hydraulic throttles of nonlinear type with the use of software packages CAD SolidWorks and COSMOS Flo Works. Results of analysis of the operation of throttles of different designs are considered.