

Застосування 3D друку при виготовленні міні гідравлічних систем

І.В. Костюченко¹ • О.В. Левченко¹

Received: 6 November 2023 / Revised: 11 December 2023 / Accepted: 22 December 2023

Анотація. Робота присвячена аналітичному інженерному дослідженню можливості застосування 3D-друку для виготовлення гідравлічних компонентів, з метою вирішення питань, пов'язаних з вагою, розміром і складністю, характерним традиційним гідравлічним елементам. Дослідження має на меті продемонструвати доцільність використання 3D-друку шляхом спрощення конструкції гідравлічного пристрою та підвищення його ефективності. В роботі представлені зразки гідравлічних елементів, надрукованих на 3D-принтері та розкрито порядок їх створення. Запропоновано просту і практичну методологію розробки конструкції для двох ключових компонентів типової гідравлічної системи, а саме, гідравлічного циліндра та гідравлічного серворозподільника типу “сопло-заслінка”, що дозволяє керувати гідравлічними приводами за допомогою будь-якого програмованого мікроконтролера. Характерною особливістю цього підходу є акцент на принципах компактності дизайну, який полегшує об'єднання багатьох частин в єдині, багатофункціональні компоненти. Використання легких матеріалів у 3D-друку сприяє зменшенню загальної маси гідравлічних компонентів. Запропонований метод дозволяє також інтегрувати різноманітні гідравлічні елементи в єдину цілісну структуру, надруковану на 3D-принтері, пропонуючи практичне рішення для вирішення проблем розміру та складності, характерних для гідравлічних систем, виготовлених з металу. Сфера застосування цього інноваційного підходу поширюється на створення прототипів гідравлічних і пневматичних роботів, а також пристроїв, які вимагають компактності, точності та адаптивності. Ця методологія є перспективною для впровадження в галузі робототехніки, особливо для задач, де критичними факторами є просторові та вагові обмеження.

Ключові слова: 3D-друк, гідравліка, робототехніка, гідравлічний циліндр, гідравлічний розподільник, сопло-заслінка.

Вступ

3D-друк, офіційно відомий як адитивне виробництво, є сучасною технологією, у якій тривимірні об'єкти створюються шар за шаром з різних матеріалів на основі попередньо створених цифрових моделей. Ця технологія виробництва, керована програмним забезпеченням автоматизованого проектування (CAD), забезпечує неперевершену гнучкість і точність. У сфері механічних і гідравлічних систем 3D-друк слугує інноваційним інструментом, що дозволяє виготовляти складні компоненти з мікронною точністю. Область застосування цього методу поширюється на розробку гідравлічних і пневматичних роботів, де здатність створювати

складні конструкції зі специфічними обмеженнями щодо дизайну сприяє прогресу в сучасній інженерії та наукових дослідженнях [1]–[3]. Практична цінність надрукованих на 3D-принтерах гідравлічних і пневматичних роботів полягає в їхній здатності оптимізувати дизайн системи, покращити функціональність і запровадити економічно ефективні та налаштовані рішення. Вони можуть бути використані для різноманітних застосувань, починаючи від медичних пристроїв і закінчуючи автоматизованими системами на виробництві. Таке поєднання точного машинобудування та інноваційного дизайну робить 3D-друк потенційно ключовою технологією в сучасних інженерних та наукових дослідженнях.

Постановка проблеми

Традиційна гідравліка і пневматика, незважаючи на те, що вони є ключовими в багатьох інженерних рішеннях, мають специфічні проблеми [4]–[6], які роблять

✉ О.В. Левченко
tudasuda@ua.fm

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

їх використання недоцільним для багатьох завдань. Основні труднощі виникають через їхню залежність від жорстких, збірних компонентів, що призводить до обмежень у використанні та застосуванні. Звичайні гідравлічні або пневматичні апарати часто вимагають складної технології збирання через взаємозалежність різних частин, що підвищує вагу, габарити та складність елементів. Це також перешкоджає їх інтеграції в компактні та легкі конструкції, обмежуючи їх застосування в сучасних портативних системах, де просторові обмеження та міркування щодо ваги є ключовими [7]–[10]. Цей, достатньо вагомих недолік, підкреслює нагальну потребу в інноваційних підходах, таких як надруковані на 3D-принтері міні гідравлічні або пневматичні елементи, для усунення типових обмежень у традиційних гідравлічних та пневматичних системах.

Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є створення базових гідравлічних елементів для застосування у роботизованих системах, виявлення проблем пов'язаних з їх виготовленням та роботою, аналіз щодо придатності методу для виготовлення гідравлічних систем. Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні задачі: 1 – проведення розрахунку базових елементів гідравлічних систем, 2 – створення конструкторської документації, зокрема 3D-моделей цих елементів, 3 – виготовлення деталей 3D друком, 4 – складання елементів, 5 – створення системи керування гідравлічними елементами, 6 – практична перевірка працездатності запропонованого рішення.

Запропоноване рішення

Перед початком розрахунків обираємо вихідні параметри та вимоги щодо використання гідравлічних елементів. Обраний виконавчий пристрій, а саме гідравлічний циліндр двосторонньої дії одноштоковий, буде використовуватися для реалізації руху пальців кисті людиноподібного робота.

Основним призначенням гідравлічного циліндра є перетворення тиску рідини в лінійну механічне зусилля, сприяючи контрольованому переміщенню вантажу в зворотньо-поступальному русі. У робототехніці гідравлічні циліндри знаходять застосування в задачах, що вимагають точного та потужного лінійного приводу.

Основні технічні вимоги: зусилля на виштовхування 20 Н, номінальний тиск гідросистеми 8 бар, хід 28 мм, час спрацювання 2 с.

На початку проектування визначаємо такі базові параметри як діаметр поршня і штоку, а також розрахункову витрату.

Для визначення діаметра поршня пропонується визначити робочу площу поршневої камери з відношен-

ня бажаного робочого зусилля до тиску, який подається до циліндра від насосу.

$$S = \frac{F}{P} = \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

де: S – ефективна площа, м^2 ; F – зусилля на штоку, Н; P – номінальний тиск насосної станції, Па; D – діаметр поршня, м.

Для визначення діаметра штока використовуємо наступну формулу:

$$d = D \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\psi}},$$

де: $\psi = 1.33$ – коефіцієнт відношення площ; D – діаметр поршня, м; d – діаметр штока, м.

Довжина штоку L залежить від потрібного робочого ходу циліндра і буде пропорційна довжині гільзи.

Витрату визначаємо як добуток швидкості руху поршня та його ефективної площі:

$$Q = S \cdot V = S \cdot \frac{L}{t},$$

де: Q – витрата, $\text{м}^3/\text{с}$; V – швидкість руху поршня, $\text{м}/\text{с}$; S – ефективна площа, м^2 ; L – робочий хід, м; t – час руху, с.

На основі представлених розрахунків було знайдено основні конструктивні характеристики гідроциліндра, після чого було створено його модель у САД середовищі CATIA v5 (рис. 1). Циліндр складається з трьох надрукованих частин і двох стандартних гумових ущільнюючих кілець. У кришці та гільзі передбачене різьбове з'єднання а також патрубком для підводу і відводу робочої рідини. В штоковій та поршневі кришках передбачені отвори для кріплення до елементів конструкції.

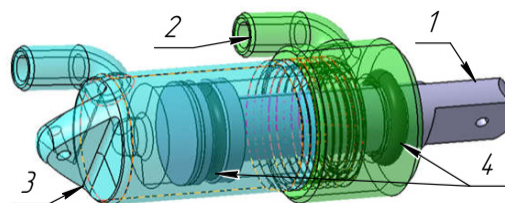


Рис. 1. 3D-модель гідроциліндра: 1 – шток з'єднаний з поршнем; 2 – штокова кришка з різьбою та патрубком; 3 – гільза з різьбою та патрубком; 4 – гумове ущільнення

Розроблена САД модель була конвертована в STL формат та за допомогою програмного забезпечення CHITUBOX підготовлена модель до 3D-друку. Модель була оптимально зорієнтована, до неї були додані допоміжні підтримуючі елементи, які після друку були видалені. Після підготовки, в CHITUBOX було створено файл для обраного типу 3D-принтеру, в яко-

му G-Code об'єднався з картинками пошарової структури деталі. Після відправки цього файлу безпосередньо на SLA (стереолітографічний) принтер було виконано друк усіх елементів гідравлічного циліндра. Отриманий після складання циліндр показаний на рис. 2.

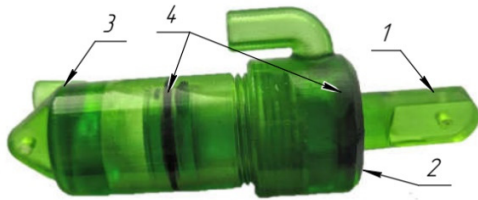


Рис. 2. Гідравлічний циліндр з напівпрозорого полімеру: 1 – шток з'єднаний з поршнем; 2 – штокова кришка з патрубком підключення; 3 – гільза з патрубком підключення; 4 – гумове ущільнення

Для керування роботою гідравлічного циліндра в гідравлічній системі повинен бути передбачений також елемент керування, функції якого виконує гідравлічний розподільник. Пропорційний розподільник дозволяє керувати не тільки напрямком руху, а ще й швидкістю руху.

Для підвищення точності та ефективності керування гідравлічним циліндром було вирішено взяти серворозподільник типу “сопло-заслінка”. Такий тип розподільника дозволяє отримати високий коефіцієнт підсилення, високу швидкість та дуже високу точність регулювання. Його перевага це плавне переключення та наявність гідравлічного підсилення сигналу

руху золотника. В автоматизованих системах пропорційні розподільники є невід'ємною частиною для керування рухом, швидкістю та положенням гідравлічних приводів, сприяючи точному виконанню таких завдань, як позиціонування, захоплення та інші складні маневри в промисловій автоматизації та роботизованих системах.

Треба зазначити, що є декілька конструкцій розподільників типу “сопло-заслінка”. Для 3D друку було обрано наступний дизайн (рис. 3), який не потребує використання пружної стрічки водила для зворотнього зв'язку і може бути повністю роздрукованим потребує лише металевого стержня соленоїда вставленого у вісь руху заслінки.

Особливістю роботи такого розподільника є те, що при подачі сигналу на соленоїд стержень втягується і заслінка рухається, чим частково перекриває сопло через яке витікає рідина, це призводить до збільшення тиску у протилежній до сопла керуючій порожнині, яка напряму під'єднана до сопла, тим самим створюється різниця тисків між керуючими порожнинами. Ця різниця і рухає золотник в той самий бік, куди пересунулась заслінка до положення рівноваги.

Як можна побачити, під час роботи через сопла постійно протікає частина рідини. Її потік обмежений дроселюючими звуженнями у соплах та на лініях подачі рідини. Обидва конструктивні елементи мають певні гідравлічні опори, утворюючи гідравлічну схему міст Уїтстона (рис. 4.). На схемі рух центрального золотника залежить від тисків, що утворилися на його торцях в наслідок перешкоджання протіканню рідини на гілках схеми моста. Верхні дроселюючі елементи G_1 і G_3 відображають взаємодію заслінки з соплами і має

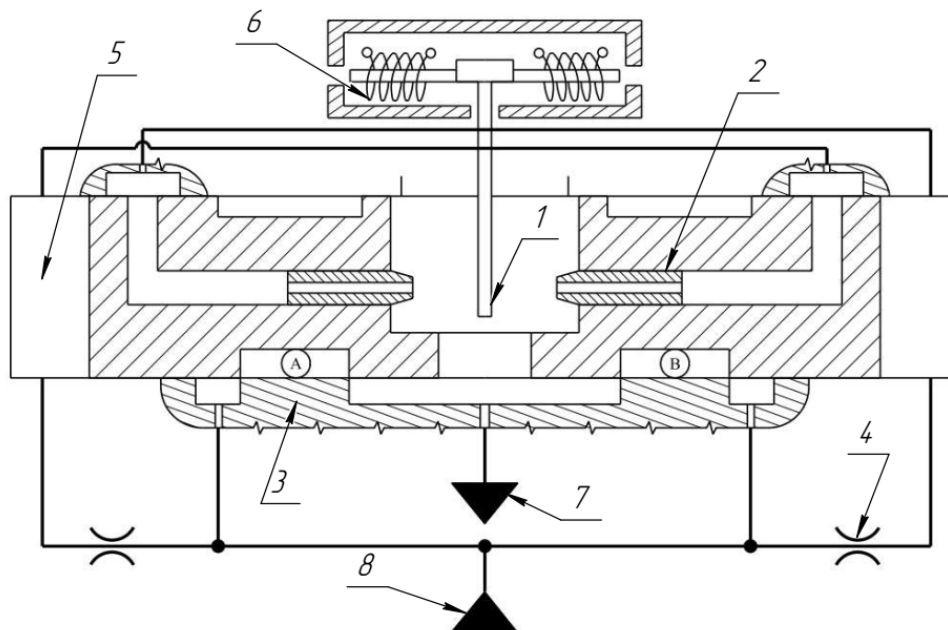


Рис. 3. Схематичне представлення розподільника типу сопло-заслінка: 1 – заслінка; 2 – золотник з соплами; 3 – корпус розподільника з підводами та відводами рідини; 4 – дроселюючі звуження; 5 – керуючі порожнини; 6 – котушка соленоїда; 7 – зливна лінія; 8 – лінія подачі рідини

обернено пропорційний зв'язок. Гідрравлічні опори G_2 і G_4 утворені звуженнями в корпусі розподільника та є постійними.

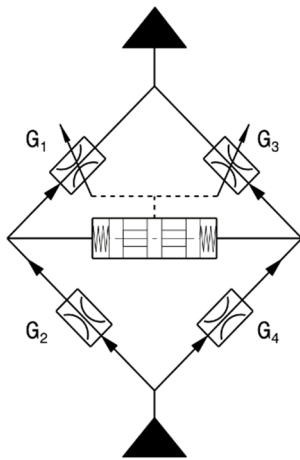


Рис. 4. Схематичне представлення гідрравлічних опорів у конфігурації моста Уїтстона

Розміри розподільника будуть залежати від витрати для керування гідроциліндром, яку він може пропустити і швидкості переключення розподільника.

Для визначення швидкісних характеристик розподільника знаходимо максимальну витрату, яку він може пропустити, а також витрату на керування розподільником. Для того, щоб спростити обрахунки розглянемо статичне положення рівноваги, коли золотник переключився і тиски вирівнялись. У такому положенні, витрати, що проходять через обидві керуючі гілки будуть однакові. Потік через лінії керування складається з ламінарного і турбулентного потоків. Опис цих процесів є доволі громіздким, тому зазвичай використовуються формули для турбулентного потоку з модифікованими коефіцієнтами:

$$Q_{dr} = \mu_{dr} \cdot f_{dr} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_{ns} - P_{rp})},$$

де: μ_{dr} – коефіцієнт витрати рідини; ρ – густина рідини, кг/м³; f_{dr} – площа поперечного перерізу, м²; Q_{dr} – витрата на дроселі, м³/с; P_{ns} – номінальний тиск насоса, Па; P_{rp} – тиск розподільника, Па.

Якщо визначити певну величину гідрравлічного опору на дроселі як квадрат добутку коефіцієнта витрати рідини на площу гідрравлічного перерізу:

$$G_{dr} = (\mu_{dr} \cdot f_{dr})^2.$$

Таким чином можна розглядати схему як аналог електричному колу де Q^2 -витрата буде аналогом струму, $1/G$ – аналог електричного опору, а тиски поділені на половину густини рідини – аналог напруги.

Зокрема можна використати наступну формулу для підрахунку опору гілки керування:

$$G_{kr} = \left(\frac{1}{G_{sp}} + \frac{1}{G_{dr}} \right)^{-1},$$

де: G_{kr} – опір керування; G_{sp} – опір сопла заслінки.

Таким чином, можемо окремо знайти гідрравлічні опори для раптового звуження (далі дросель) та для сопла і заслінки. G сопла в свою чергу складається з опору при проході через звуження сопла і опору витікання рідини через отвір. Обидва отвори можна виразити через попередні дві формули і порахувати окремо. Коефіцієнт витрати для кожного з опорів має емпіричну залежність від параметрів конструкції. Для раптових звужень і дроселів можна узагальнено взяти що $\mu = 0.5 \sim 0.6$.

Тиск, який діє на стінку розподільника, визначаємо з рівності витрат, які проходять через дросель та сопло.

$$Q_{kr} = G_{dr} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_{ns} - P_{rp})} = G_{sp} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_{rp} - P_z)},$$

де: P_z – тиск зливної лінії, Па.

Виразивши P_{rp} з рівняння отримаємо:

$$P_{rp} = \frac{P_{ns} \cdot G_{dr} + P_z \cdot G_{sp}}{G_{dr} + G_{sp}}.$$

Підставляючи тиск у попереднє рівняння витрати можна знайти витрату керування.

Максимальну витрату, що пропускає розподільник при максимальному відкритті можна визначити:

$$Q_{zl} = \sqrt{G_{zl} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot (P_{ns} - P_z)},$$

де гідрравлічний опір золотника виражається як:

$$G_{zl} = (\mu_{zl} \cdot f_{zl})^2,$$

де: μ_{zl} – коефіцієнт витрати рідини на золотнику; f_{zl} – площа щілини отвору між нагнітальною та лінією подачі тиску на циліндр, визначається як:

$$f_{zl} = L_h \cdot S_h,$$

де: L_h – довжина щілини пропорційна ходу золотника, м; S_h – ширина щілини, м.

Як вже було попередньо зазначено, керування заслінкою здійснюється за допомогою соленоїдів. Конструкція надрукованого розподільника (рис. 5) передбачає створення двох соленоїдів для контролю положення заслінки. Обмотка котушок буде безпосередньо намотуватися на склеєний фотополімером корпус для заслінки. Осердя буде вставлене в центральну вісь заслінки, в моделі якої передбачений для цього отвір. Таким чином ми отримуємо компактну пару соленоїдів у герметично склеєному корпусі, де шов склеювання зроблений з того ж матеріалу, що і сам корпус.

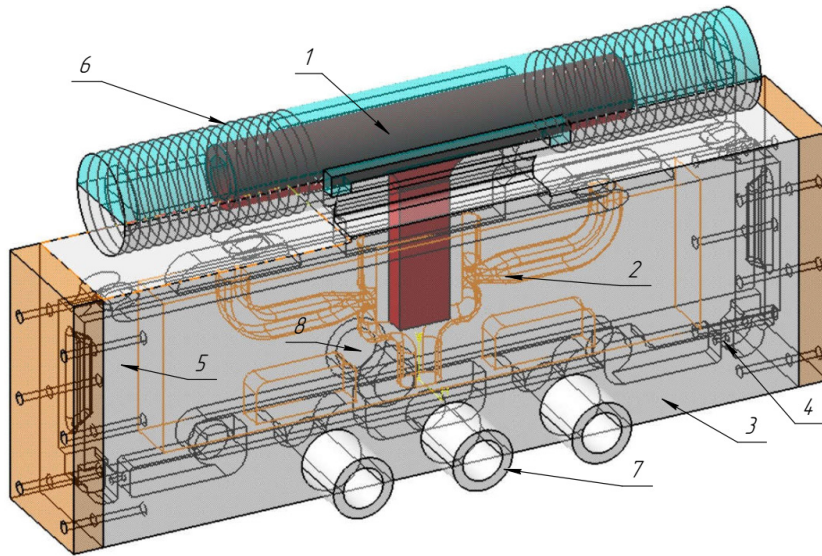


Рис. 5. Модель серворозподільника типу сопло-заслінка: 1 – заслінка, 2 – золотник з соплами, 3 – корпус розподільника з підводами та відводами рідини, 4 – дроселюючі звуження, 5 – керуючі порожнини, 6 – котушка соленоїда, 7 – зливна лінія, 8 – лінія подачі рідини

Для проектування котушок, нас цікавить зусилля витягування стержня, а також індуктивність та опір котушки, які будуть використані для розрахунку керуючої електричної схеми (рис. 6) роботи руки.

Розрахунок проводився наступним чином. Сила втягування заслінки:

$$F_{sl} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot (\pi \cdot R_c \cdot Z_c) \cdot (N \cdot I)^2}{(R_c - R_i)^2},$$

де: F_{sl} – зусилля створене соленоїдом, Н; μ_0 – магнітна проникність вільного простору, Н/А²; μ_r – відносна проникність металу, Н/А²; R_c – радіус котушки, м; R_i – радіус металевого стержня вставки, м; Z_c – довжина котушки, м; N – кількість витків, шт., I – струм, А.

Індуктивність такої котушки визначається як:

$$L_{sl} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \pi \cdot (N \cdot R_c)^2}{Z_c}.$$

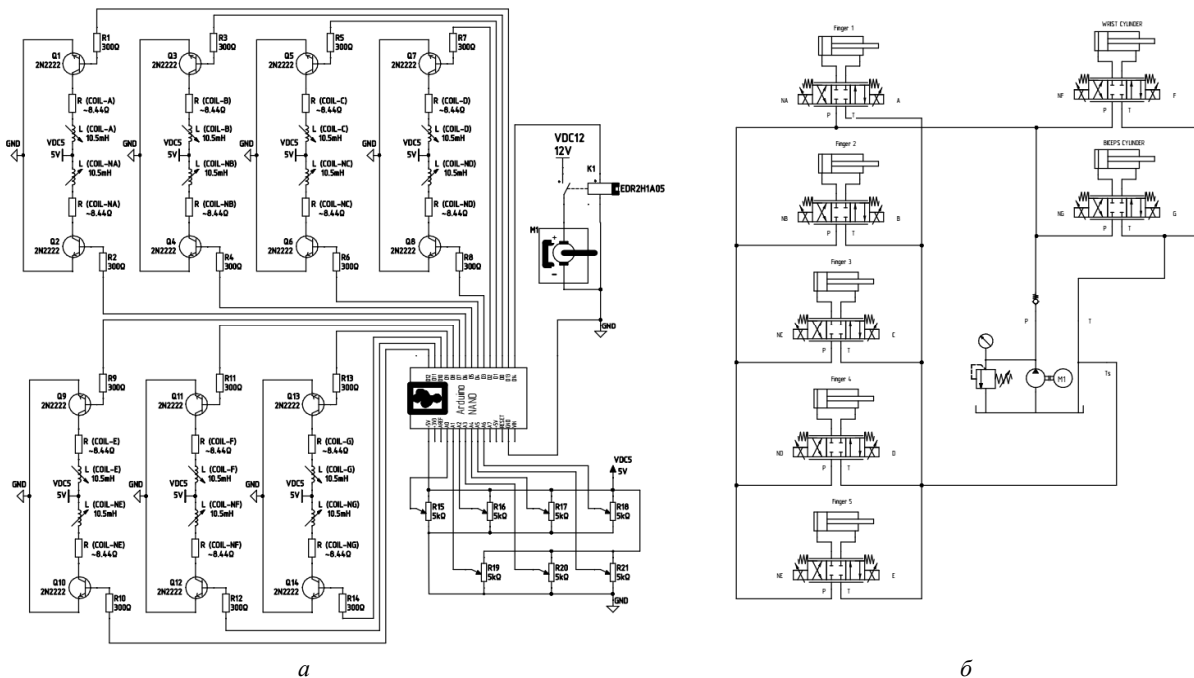


Рис. 6. Принципова схеми (а) – електрична (б) – гідравлічна

Опір котушки соленоїда визначаємо знаючи питомий опір міді і довжину дроту.

На рис. 6а представлено принципову електричну схему керування та підключення усіх гідроциліндрів у привід робота, в ній реалізовано електричну схему керування котушками соленоїдів за допомогою транзисторів. Так як потужність не промислових контролерів типу Arduino, Raspberry, ESP32 досить мала, це не дозволяє підключати до них безпосередньо силові споживачі, так як це може призвести до перевантаження порта керування і пошкодження контролера. Тому обов'язково потрібно використовувати підсилювач, в даному прикладі був використаний транзистор 2N2222 через його доступність та надійність у поєднанні з високими технічними характеристиками. Потужність котушки в цьому випадку становить 1.6 Вт. Для більш потужних котушок можуть бути використані МОП-транзистори, які мають складнішу схему підключення. Також для визначення положення кінцівки робота було використано потенціометри R15 – R21 зафіксовані на шарнірах кінцівок, як недорогі і доступні датчики кута згину кінцівки.

Гідравлічна схема робота руки рис. 6б складається з семи надрукованих гідравлічних циліндрів до кожного з яких підключений окремий розподільник з відповідною парою соленоїдів і елементами електричного підсилення. П'ять циліндрів реалізують рухи пальців руки. Інші два відповідають за рух зап'ястя та біцепса. Система живиться від однієї насосної станції (2.25 л/хв), і керується від одного контролера Arduino, який можна замінити на Raspberry Pi Pico за потреби більшої обчислювальної здатності.

Обговорення отриманих результатів

Для виготовлення деталей був використаний стереофотографічний SLA принтер, точність якого 48 мікрон. Максимальна точність цього методу на даний момент може сягати 15 мікрон і має тенденцію збільшуватися кожні два роки.

Практична перевірка показала, що отримані в роботі гідравлічні компоненти є цілком функціональними. Їх основною перевагою є швидкість і простота виготовлення. Процес друку зайняв всього декілька годин. Таким чином 3D-друк радикально скорочує весь цикл виготовлення від розробки до готової системи. Собівартість виготовлення одного циліндру склала трохи менше ніж два долари, що є серйозною перевагою у порівнянні з циліндрами виточеними з металів. Виготовляти деталі можна з різних фотополімерів, які мають дещо різні властивості, такі як гнучкість, зносостійкість та твердість. Існують спеціалізовані керамічні полімери, які після друку випаляються в печі, отриманий матеріал має підвищену зносо- і жаростійкість.

Однак, варто зазначити певні недоліки цього методу у виготовленні деталей і методи боротьби з ними. Основною проблемою даного методу виготовлення є

якість отриманих поверхонь, що напряму залежить від орієнтації компонентів при друку. Як виявилось найкращі поверхні будуть при перпендикулярній орієнтації до площини полімеризації шарів 3D-друку (вертикально). При нахиленій орієнтації виникає дефект ступінчастої (шарованої) структури який буде мати певну шорсткість залежну від висоти шару та куту нахилу.

Інший дефект що спостерігається при друку тонкостінних поверхонь, таких як гільзи циліндрів - це деформація форми (короблення) пов'язане з тепловою релаксацією зв'язків між ланцюжками полімерних структур, дефект можна виправити нагріванням і вирівнюванням деталі. Кут нахилу деталі при друку грає значну роль в виникненні цього дефекту.

Пост-обробка важливих поверхонь грає ключову роль. До методів відносяться: шліфування, полірування і лакування поверхонь. Лакувати можна спеціальними фотополімерними лаками, які полімеризуються від ультрафіолетового світла і мають схожі або навіть кращі зносостійкі властивості, ніж матеріал з якого був надрукований елемент.

У всіх цих методах обробки і виготовлення важливо правильно розрахувати величину допуску посадки елементів з урахуванням типу обробки.

При проектуванні ущільнень гідравлічного циліндра дуже важливо використовувати кільця гумового ущільнювача, який безпосередньо призначений для гідравлічних циліндрів. В роботі були використані стандартні сантехнічні ущільнення. Невисока якість бокових поверхонь цих ущільнень привела до того, що ущільнення кришки циліндра було занадто великим і створювало велике тертя спокою.

Також варто зазначити, що SLA 3D друк у домашніх умовах повинен проводитися у гарно вентиляційній спеціально відокремленій кімнаті або окремому приміщенні. При полімеризації виділяється формальдегідні випаровування, тому наявність респіратору окулярів обов'язкова.

Висновки

В результаті проведеної роботи було розроблено і адаптовано до 3D-друку два базових елементи: гідроциліндр і серворозподільник. На основі зауважень щодо особливостей виготовлення гідравлічних компонентів на SLA принтері можна зробити висновок, що швидкий виробничий цикл і низька собівартість, робить цей метод дуже привабливим для прототипування роботизованих систем у тому числі і гідравлічних. Також можливість об'єднувати багато елементів системи в один компактний дизайн, може стати вирішальною для технічних рішень де компактність і вага грають ключові ролі.

Більшість недоліків цього методу полягає в якості отриманих поверхонь. Більшу частину цих недоліків поверхні можна легко виправити за допомогою додаткової обробки. При цьому умова контролю допусків по-

верхні легко виконуються ітеративним способом завдяки швидкому циклу виготовлення, який може проводитися безпосередньо інженером на робочому місці. За потреби більшої міцності та довговічності матеріалів можна підібрати інший фотополімер з потрібними

властивостями. За відсутності задовільних фотополімерів, розроблену модель можна надрукувати лазерно-металопорошковим методом на індустріальному SLM принтері, що значно дорожче, але дозволяє друкувати міцні деталі зі сталі, алюмінію, різних сплавів, титану.

References

- [1] O. Levchenko, “Study of energetic balance of the hydraulic system with fixed displacement pump and pressure relief valve”, *Mech. Adv. Technol.*, No. 2(80), pp. 123–133, Nov. 2017, doi: 10.20535/2521-1943.2017.80.111969.
- [2] Y. Lukashchuk, I. Behm, and O. Levchenko, “Energy efficiency of pneumatic systems as part of the Industrial Revolution 4.0 features”, *Mech. Adv. Technol.*, No. 2(83), pp. 87–93, Oct. 2018, doi: 10.20535/2521-1943.2018.83.133097.
- [3] *Hydraulik – Fluid-Mechatronik*, Norbert Gebhardt, Jürgen Weber, 7. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2020, doi: 10.1007/978-3-662-60664-3.
- [4] *Ölhydraulik, Handbuch der hydraulischen Antriebe und Steuerungen*, Dietmar Findeisen, Siegfried Helduser, 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, doi: 10.1007/978-3-642-54909-0.
- [5] L.G. Kozlov *et al.*, “Determining of the optimal parameters for a mechatronic hydraulic drive,” in *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 1080861, 1 October 2018, doi: 10.1117/12.2501528.
- [6] Oscar R. Peña and Michael J. Leamy, “An efficient architecture for energy recovery in hydraulic elevators”, *International Journal of Fluid Power*, Vol. 16, No. 2, pp. 83–98, 2015, doi: 10.1080/14399776.2015.1055991.
- [7] M. Karvonen, M. Heikkilä, M. Huova, and M. Linjama, “Analysis by Simulation of Different Control Algorithms of a Digital Hydraulic Two-Actuator System,” *International Journal of Fluid Power*, Vol. 15, No. 1, pp. 33–44, 2014, doi: 10.1080/14399776.2014.893710.
- [8] A.M. Murashchenko, A.P. Gubarev, O.M. Yakhno, and O.V. Tyzhnov, “Calculation of hydraulic channels of drives with taking into account temperature and viscosity changes,” *Mech. Adv. Technol.*, No. 2(83), pp. 5–10, Oct. 2018, doi: 10.20535/2521-1943.2018.83.118414.
- [9] G. Avrunin, M. Podrigalo, I. Moroz, and O. Koval, “Analysis of the technical level of hydraulic fluid power with motor-wheels,” *Mech. Adv. Technol.*, Vol. 7, No. 2 (98), pp. 185–192, Sep. 2023, doi: 10.20535/2521-1943.2023.7.2.277557.
- [10] F. Razavi and O. Koval, “Peculiarities of physical modeling of hydrodynamics of flow in conical slide bearings,” *Mech. Adv. Technol.*, No. 1(82), pp. 51–57, May 2018, doi: 10.20535/2521-1943.2018.82.123323.

Use of 3D printing in the manufacture of mini hydraulic systems

I.V. Kostiuhenko¹ • O.V. Levchenko¹

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. The work is devoted to an analytical engineering study of the practicality of using 3D printing for the manufacture of hydraulic components, in order to solve the problems associated with weight, size and complexity inherent in traditional hydraulic elements. The research aims to demonstrate the feasibility of using 3D printing to achieve simplified design and increased efficiency. The work presents samples of hydraulic elements printed on a 3D printer, which reflects the practical feasibility of this approach. A simple and practical design methodology is proposed for two key components of a typical hydraulic system, namely, a hydraulic cylinder and a directional servo-valve, which allows hydraulic actuators to be controlled using any programmable microcontroller. A distinctive feature of this approach is the emphasis on the principles of compact design, which facilitates the integration of many parts into single, multifunctional part. In addition, the use of lightweight materials in 3D printing helps reduce the overall weight of hydraulic components. The proposed method also allows the integration of various hydraulic elements into a single integral structure printed on a 3D printer, offering a pragmatic solution to the size and complexity issues associated with traditional metal hydraulic systems. The scope of this innovative approach extends to the creation of prototypes of hydraulic and pneumatic robots, as well as devices that require compactness, precision and adaptability. This methodology is promising for implementation in the field of robotics, especially for tasks where space and weight constraints are critical factors.

Keywords: 3D printing, hydraulics, robotics, hydraulic cylinder, hydraulic directional control valve.