

Автоперфузійні моделі на «штучних м'язах»

Р. В. Беляков

Київський інститут інженерів цивільної авіації

З часу синтезу Куном і Качальським [2, 3, 4] перших сильно скоротливих полімерних матеріалів з'явилась реальна основа для побудови штучних м'язоподібних систем, які безпосередньо перетворюють енергію хімічної реакції на механічну роботу. Виготовлені у вигляді волокон, плівкових смужок, а в одному варіанті [5] — у формі попереочношаруватих стержнів, синтетичні скоротливі полімерні структури дістали назву «штучних м'язів». Хоч такі скоротливі полімерні волокна і не відтворюють гребінчастої мікроструктури м'яза (яку відкрив Г. Хакслі уже після дослідів моделювання за Куном і Качальським), все ж з усіх штучно створених систем ці полімерні перетворювачі найбільш близькі до живого прототипу. Дуже наочно роботу нових перетворювачів енергії демонстрував Кун у пристроях, де волокна, плівкові смужки або стержні закріплені одним кінцем нерухомо в будь-якій камері, наповненій рідиною, а другим кінцем з'єднані з деяким вантажем. При зміні хімічного складу навколишнього рідкого середовища полімерні волокна переміщують вантаж, виконуючи механічну роботу. Праці Куна, Качальського і співробітників зробили ще популярнішою стару ідею створення м'язоподібних машин.

Проте з поля зору творців і перших дослідників «штучних м'язів» випала технічна можливість переведення синтетичного м'яза на саморегулювання шляхом створення хіміко-механічного зворотного зв'язку. В демонстраційних пристроях, показаних на Всесвітній виставці 1958 року в Брюсселі, як і в наступних демонстраційних системах, було застосоване зовнішнє управління надходженням живильних розчинів. Перші дослідники мали справу з розімкненими системами на скоротливих полімерах. Але розімкнені системи з управлінням іззовні не можуть служити основою для побудови автономного пульсатора.

Схеми автоматичних пристроїв на «штучних м'язах», що саморегулюються завдяки каналам хіміко-механічного зворотного зв'язку, було запропоновано автором у 1960 році [1, а, б] *. Основна нова якість цих пристроїв полягає у здатності до циклічних автопульсацій з власним періодом. Зворотний зв'язок надає цим пристроям ознак автогенераторів.

Нові автомати відкривають шлях до розв'язання ряду проблем, серед яких особливо виділяються такі дві: а) створення автономного полімерного двигуна на «штучних м'язах» [1, а, в, г, д], б) моделювання переміщення рідких середовищ, тобто створення насоса-генератора на «штучних м'язах» [1, б, в, г, д]. Обидві проблеми тісно взаємопов'язані. Від успіхів у розв'язанні однієї можуть залежати досягнення в другій: насос-генератор при достатній ефективності «штучних м'язів» є насосом-двигуном.

В даному повідомленні розглядаються далші питання моделювання перенесення значних мас рідин за допомогою скоротливих полімерних структур, які автоматично обмиваються і живляться цими ж рідинами. Назвемо такі моделі автоперфузійними моделями на «штучних м'язах».

* Перше усне повідомлення про можливість побудови автопульсаторів на «штучних м'язах» було зроблено автором у зверненні до математика академіка АН УРСР Б. В. Гнеденка та хірурга професора М. М. Амосова у вересні 1959 року.

Принцип розв'язання задачі автоперфузії на основі скоротливих полімерних матеріалів полягає в тому, що один або кілька «штучних м'язів» приводять у дію всмоктувально-нагнітальні камери і проштовхують порції хімічно різнорідних рідин крізь самих себе, а також і в зовнішню сітку каналів. Отже, в каналах подання рідин «на себе» реалізується хімікогідрравлічний зворотний зв'язок [1, б, в, г, д]. Здійснюючи такий новий спосіб зворотного зв'язку, можна забезпечити спрямоване переміщення рідин за рахунок виключно лише хімічної енергії цих рідин і одержати новий пристрій — автоколивальний хімікогідрравлічний мотор-насос, для роботи якого не потрібні електричні,

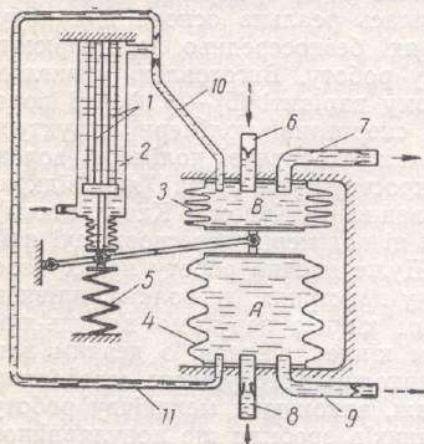


Рис. 1. Спрощена принципова схема одного з варіантів автоперфузійної моделі.

1 — полімерні скоротливі структури, 2 — робоча камера, 3 і 4 — всмоктувально-нагнітальні порожнини, 5 — пружинний елемент, 6 і 8 — всмоктуючі трубопроводи, 7 і 9 — нагнітальні трубопроводи, 10 і 11 — трубопроводи зворотного зв'язку.

пневматичні та інші приводи, але потрібен лише перепад концентрацій іонів, тобто різниця хімічних потенціалів.

На рис. 1 показана одна з принципових схем автоперфузійного пристрою. В цій схемі використовується один «штучний м'яз», а зворотна сила створюється пружиною. «Штучний м'яз» у вигляді ряду скоротливих полімерних волокон, плівок (1) укріплений у герметичній робочій камері (2) і через еластичну частину камери кінематично зв'язаний із сифонами (3, 4). Ці сифони виконують роль нагнітальних порожнин змінного об'єму. Один з них служить для всмоктування і нагнітання рідини «А», яка ініціює скорочення плівок, а другий — для переміщення рідини «В», яка є ініціатором подовження плівок. По трубопроводах (10, 11) живильні рідини автоматично по черзі нагнітаються в робочу камеру. Отже, створюється система замкненого циклу: «м'яз» — кінематичний зв'язок — сифони — трубопроводи зворотного зв'язку — «м'яз», в якому рух скоротливих плівок переходить у рух рідин, які в свою чергу, стимулюють рух плівок.

Для кращого використання тієї частини рідини, яка витрачається «на себе», бажаний високий ступінь заповнення робочого об'єму полімерними плівками. Однак надмірне підвищення щільності скоротливих елементів може утруднити перфузію «м'яза». Якщо робоча камера жорстка, то існує певний оптимум її заповнення. Функціональні зазори між волокнами (плівками) треба обрати з урахуванням деформації волокон не тільки по довжині, а й у товщину. Проте проблема змінних зазорів відпадає в разі використання стержневого скоротливого тіла за Куном і співробітниками, виконаного у вигляді шаруватої структури [5]. «Коефіцієнт Пуассона» такої структури близький до нуля. Стержневі елементи прийнятні для автоперфузійних моделей повільної дії. Крім плівок, волокон і стержнів, можуть бути використані зернисті полімерні скоротливі матеріали, наприклад, такого типу, які згадуються в праці Морі [6]. Автоперфузія крізь подібні зернисті «м'язи» буде, очевидно, ефективною при калібрувальному сортуванні зерен. Можливі, нарешті, такі конструктивні рішення автоперфузійних

моделей, в якотного значе

В автоколзапізнення діїникає автоматротливих поліабо дрібних зелах саморегул

собами. Так, длцюга зворотногоздійснене і чисджувача рідини камери у вигляз більш міцним

На рис. 2, аделі. Резервуаргерметичні рухвуара може наспрацьована рідного м'яза» несних середовищ,фонів, які забегазів. При наявних» автоколивможливих схеммережі зовнішні

Перенесенняорганізмів реаліфізичних сил. Ннесення речовинцілісного органіспеціально розвмагістралях, як,

Тепер пробзахопили увагують саме мікроснак, обговорюєтдовищ на значні

моделей, в яких коефіцієнт заповнення робочого об'єму не матиме істотного значення.

В автоколивальних моделях на «штучних м'язах» має бути деяке запізнення дії в ланцюгу зворотного зв'язку [1, 2]. Таке запізнення виникає автоматично завдяки релаксації просочування і деформації скоротливих полімерних структур. Якщо ж при тонких волокнах (плівках) або дрібних зернах тривалість релаксації мала, то запізнення в каналах саморегулювання може бути збільшене конструктивними спо-

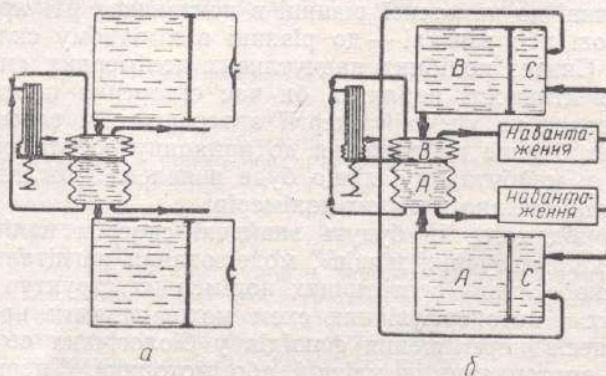


Рис. 2. Варіанти включення автоперфузійної моделі (по-яснення в тексті).

собами. Так, для досягнення цієї мети можна в кінематичній ланці ланцюга зворотного зв'язку передбачати регульований люфт. Може бути здійснене і чисто гідравлічне запізнення шляхом включення нагромаджувача рідини між клапанним вузлом і впускним патрубком робочої камери у вигляді еластичного мішка, вміщеного в жорсткий корпус з більш міцним вихідним клапаном, ніж вхідний.

На рис. 2, а і б показані дві схеми включення автоперфузійної моделі. Резервуари із запасом живильних рідин А і В мають внутрішні герметичні рухомі плунжери. В звільнювану частину кожного резервуара може надходити або повітря з атмосфери (див. рис. 2, а), або спрацьована рідка суміш С (див. рис. 2, б). Якщо для роботи «штучного м'яза» необхідна одночасна подача в нього рідких і газоподібних середовищ, то модель може бути доповнена ще однією парою сильфонів, які забезпечують автоматичне нагнітання повітря або деяких газів. При наявності «двом'язової» моделі [1, б, г, д] або «багатом'язових» автоколивальних систем, значно збільшується різноманітність можливих схем включення як мережі живлення самих «м'язів» так і мережі зовнішніх каналів.

Перенесення речовини в клітині та у внутрішніх системах живих організмів реалізується на різних структурних рівнях і з участю різних фізичних сил. На мікроскопічному рівні — це, наприклад, іонне перенесення речовини через пористі мембрани та оболонки, а в масштабах цілісного організму ми бачимо і переміщення великих рідких мас по спеціально розвинутих порожнистих внутрішніх органах, каналах і магістралях, як, наприклад, кровообіг.

Тепер проблеми іонного перенесення крізь мембрани настільки захопили увагу дослідників, що під «транспорт» речовини розуміють саме мікроскопічні мембранні обмінні процеси. В даній роботі, однак, обговорюється моделювання макроперенесення з доставкою середовищ на значні відстані. Цікаво, що автоперфузійні моделі на ско-