

3. Час $\bar{\tau}_2''' = \tau_2''' / \tau_0$ затухання перехідного процесу для концентрації продукту з ростом комплексу частоти $\bar{\omega} = \omega \tau_0 = \bar{\omega}(\eta_0)$ збільшується. Для кінцевої концентрації реагенту спостерігається слабкий максимум – тільки оборотна реакція – відповідного часу $\bar{\tau}_1'''$ за частотою, і при високих частотах ($\bar{\omega} \gg a$) він не залежить від $\bar{\omega}$.

4. При низьких частотах величини часів затухання малі ($\bar{\tau}_i''' \ll 1$). З ростом $\bar{\omega}$ одночасно йде «позитивне» зменшення амплітуд вихідних концентрацій інгредієнтів, що з практичної вимоги забезпечення стаціонарності режиму роботи РІЗ цілком згладжує «негативний» вплив при високих частотах навіть великих значень $\bar{\tau}_i''' \gg 1$.

Література

1. Закгсйм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
2. І. Лучейко, М. Ямко. Стійкість стаціонарного режиму реактора ідеального витиснення при збуренні концентрації реагенту на вході. // Матер. 8-ї наук. конф. ТДГУ ім. І. Пулюя: Тези доп. – Тернопіль, 2004. – С. 123.
3. Лучейко І.Д., Ямко М.П. Малі збурення концентрації реагенту в реакторі ідеального витиснення (реакція $\nu_1 A_1 \rightleftharpoons \nu_2 A_2$). // Наук. записки Тернопільського національного педагогічного у-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Хімія. – 2005. – N 9. – С. 57-65.
4. І. Лучейко, М. Ямко. «Резонанс фаз» у проточному реакторі ідеального змішування при гармонічному коливанні початкової концентрації реагенту. // Матер. 10-ї наук. конф. ТДГУ ім. І. Пулюя: Тези доп. – Тернопіль, 2006. – С. 179.
5. Лучейко. Хімічний реактор як перетворювач сигналу концентрації. // Матер. 10-ї наук. конф. ТДГУ ім. І. Пулюя: Тези доп. – Тернопіль, 2006. – С. 180.
6. Лучейко І.Д. Перехідний процес в системі проточний реактор ідеального змішування – реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$ при гармонічному збуренні концентрації A_1 на вході. // Наук. записки Тернопільського національного педагогічного у-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Хімія. – 2006. – N 10. – С. 53-58.
7. І. Лучейко, М. Ямко, Я. Гумницький. Частотні характеристики проточного реактора ідеального змішування при малих збуреннях концентрації реагенту (реакція $A_1 \rightleftharpoons \alpha A_2$). // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – N 3. – С. 195-204.

Одержано 14.10.2006 р.

УКД 621.229.64:621.229.76

О.Куцевич; Я.Проць, канд. техн. наук; А.Куцевич, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИБОРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГРАНИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ВІД КРУГЛОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВТУЛОК У ПРОЦЕСІ ЇХ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Розглянуто можливість розробки на базі пневматичних пристроїв кутового орієнтування деталей типу втулок гами пристроїв для контролю граничних значень відхилень форми внутрішніх поверхонь втулок в процесі переміщення їх транспортуючим органом. Визначені сукупності структурних ознак нових типів контрольно-транспортуючих пристроїв для заданих умов роботи. Представлено методику розрахунку силової дії повітряного потоку на внутрішню поверхню контрольованої втулки.

O.Kucevich, Y.Proc, A.Kucevich

FEATURES OF CONSTRUCTING OF PNEUMATIC DEVICES FOR CONTROL OF MAXIMUM DEVIATIONS FROM CIRCULARITY DETAILS AS BUSHES IN THE PROCESS OF THEIR TRANSPORTING

Discussed a possibility to invent a range of devices to control limit values of deviations in the form bush's inner surface. The above mentioned devices developed on basis of pneumatic angular orienting gadgets, such as bushes. The control of deviations is carried out during the process of transportation of the bushes by the handler. Defined structured qualities' groupings in the new types of control and transportation devices for given conditions of work. Presented a method of calculating the force of airstream on the controlled bush's inner surface.

Умовні позначення

- $M_{об}$, $M_{тр}$ – відповідно, обертальний та гальмівний, створюваний силами тертя, моменти, що діють на втулку;
- $\omega_{вт}$, $\omega_{шт}$, $\omega_{оп}$, $\omega_{пр}$, ω_r – кутова швидкість, відповідно, втулки, штока, опори, привідного ролика, ротора;
- $V_{шт}$ – лінійна швидкість переміщення штока;
- F_h , $F_{підт}$ – радіальна сила, відповідно, дії повітряного потоку на втулку і підтискання роликом втулки;
- $P_{вх}$, $P_{пр}$, P_1 , P_2 – відповідно, вхідний тиск повітря, тиск у тангенціальному каналі привода обертання втулки, тиск в порожнині штока до і в момент фіксації втулки;
- A , h_1 , h_2 , δ – розмірні характеристики пристрою;
- $F_{тстр}$, $F_{пол}$ – тангенціальні складові радіальної струмнини повітря, що діють на втулку, відповідно, у зустрічному чи попутному напрямі щодо колової швидкості внутрішньої поверхні втулки в режимі її переміщення;
- F_{Σ} – сумарна сила, що діє на втулку, від інерційних сил та від радіального повітряного потоку;
- $R_{вт}$ – внутрішній радіус втулки;
- h_m – середній зазор між втулкою і штоком при їх співвісному положенні.

Вступ

У ряді випадків поряд з вирішенням питань розмірного контролю деталей постає необхідність визначення відхилень форми їх окремих поверхонь. Особливо часто доводиться оцінювати відхилення від круглості деталей типу втулок, зокрема, тонкостінних, для яких значну частину похибки вимірювання традиційними контактними методами буде складати додаткове деформування досліджуваного профілю затискними пристроями. З безконтактних методів достатньо високими точнісними характеристиками володіють пневматичні пробки, побудовані на основі використання дроселів типу „сопло-заслінка”. Граничні похибки вимірювання ними внутрішніх діаметрів втулок при певних умовах можуть не перевищувати 0,2 мкм. В залежності від конструкції пневматичної пробки і специфічних особливостей відхилень форми поперечного перерізу контрольованої поверхні (овальність, багатровершинні огранки) ці засоби вимірювання можна використовувати і для оцінки відхилень форми при забезпеченні відповідного вимірювального переміщення втулки відносно сопел пневматичної пробки. Однак певна складність вимірювальної системи в цілому, низька продуктивність та можливий вплив і в цьому варіанті базуючих контактних елементів пробки або затискних пристроїв на деформацію досліджуваної поверхні, змушує вести пошук більш прийнятних схем. З точки зору забезпечення максимальної продуктивності контролю відхилень форми саме тонкостінних втулок, найбільш доцільним місцем проведення такої технологічної операції, за рахунок спільності завантаження та первинного орієнтування, з іншими, є операція міжопераційного транспортування досліджуваних деталей. Саме забезпечення високої точності і

продуктивності контролю відхилень форми тонкостінних деталей типу втулок у процесі їх транспортування є загальним завданням пошуку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що відхилення форми внутрішньої поверхні деталей типу втулок для ряду автоматизованих пристроїв є ключовою ознакою для кутового орієнтування. Так, наприклад, при складанні внутрішніх ланок приводних ланцюгів для підвищення їх точнісних характеристик і показників надійності необхідно кожну втулку перед запресовуванням їх у пластини розвернути в кутовому напрямі у таке положення, при якому стиковий шов втулки, згорнутої на спеціальному автоматі з пластини, був би повернутий один до одного, що виключає контакт цього шва при роботі ланцюгової передачі з валиком зовнішньої ланки. На Даулгавпільському заводі приводних ланцюгів на діюче технологічне обладнання були встановлені пневматичні орієнтуючі пристрої [1], які при складанні приводних ланцюгів кроку 9,525 мм забезпечували вказану орієнтацію втулок. Про високу продуктивність цих пристроїв свідчить те, що за часовий інтервал 0,013 с, коли втулка у вільному стані перебувала на пневматичному орієнтуючому штокові, взаємодія з внутрішньою поверхнею втулки однонаправлених тангенціальних та ряду радіальних повітряних струменів, що витікали з відповідних сопел штока, дозволяли з випадкового початкового розвернути втулку за ключем орієнтування у задане кутове положення і утримувати її у цьому положенні до запресовування у пластини внутрішньої ланки. Методика розрахунку конструктивних параметрів струминних орієнтуючих пристроїв наведена в [2] та інших публікаціях автора, однак використання вказаних пристроїв для розглянутих в цій статті задач є нерозглянутим і невирішеним, та є очевидним, що орієнтуючі пристрої здатні реагувати на певні значення відхилень форми втулок.

Пропонується розробити гаму пристроїв для контролю граничних значень відхилень форми внутрішніх поверхонь тонкостінних втулок у процесі їх транспортування для окремих умов протікання технологічного процесу.

Методологічні основи перетворення орієнтуючого пристрою в контрольний такі: якщо ознака орієнтування (ключ орієнтації) у вигляді відхилень від круглості є достатньою, то орієнтуючий пристрій зафіксує втулку в певному круговому положенні. Якщо ж дійсне відхилення від круглості внутрішньої чи зовнішньої поверхні втулки не буде перевищувати допустимого значення, то орієнтуючий пристрій має мати такі конструктивні параметри і режими роботи, які не зафіксували б втулку відносно елементів пристрою, що здійснюють активну дію орієнтування на відповідну поверхню контрольованої втулки. Тобто, коли взаємне зміщення втулки відносно елементів орієнтуючого пристрою на кут більше 360° не викличе фіксації втулки, то контрольована втулка є придатною за граничними відхиленнями форми.

Для створення автоматизованого контрольного пристрою вказаного типу треба:

- вибрати принцип орієнтування втулки за параметрами ключа орієнтації;
- забезпечити взаємне вимірювальне переміщення втулки відносно елементів контрольного пристрою;
- розробити сигнальний пристрій для розпізнавання наявності фіксації втулки відносно пристрою після закінчення вимірювального переміщення.

Якщо ж розглядати ці контрольні пристрої в складі транспортуючих систем, наприклад, при міжопераційному транспортуванні деталей типу втулок з розсортуванням на придатні і браковані за значенням відхилень форми їх внутрішньої чи зовнішньої поверхні, то необхідно буде знайти раціональну траєкторію переміщення і просторового положення втулки, які забезпечували б оптимальні умови

здійснення орієнтуючого впливу на контрольовану втулку, мінімальні динамічні навантаження на неї, економічну схему завантажувальних і сортувальних операцій.

Виконавчі варіанти визначальних структурних ознак пневматичних пристроїв забезпечення сумішених транспортно-контрольних операцій для вказаних деталей доцільно зводити до вигляду розгорнутої таблиці морфологічного аналізу, яку в подальшому можна використовувати при розробці нових типів контрольно-транспортуючих пристроїв шляхом перебору різних комбінаційних варіантів сукупності їх структурних ознак:

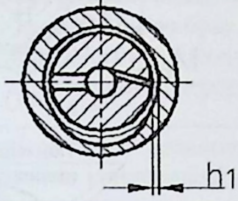
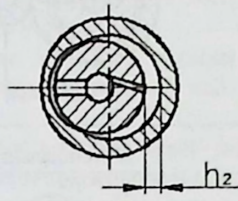
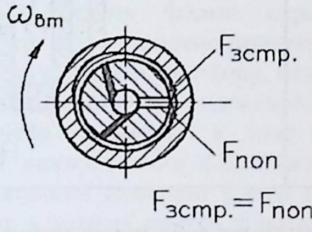
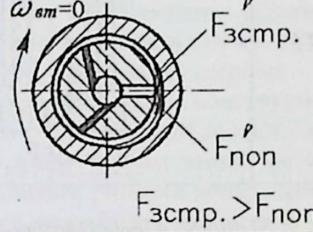
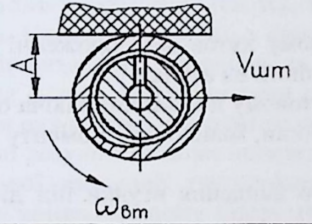
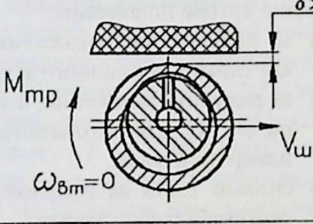
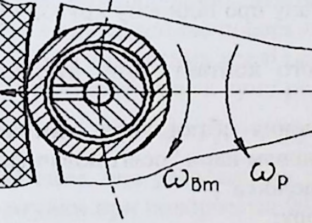
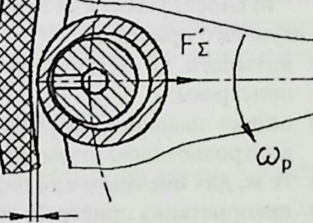
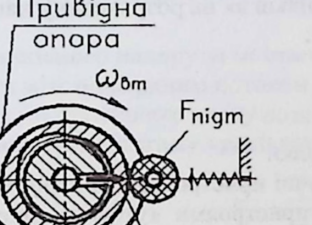
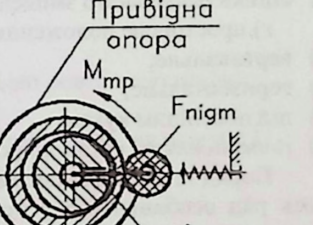
а) вимірювальне взаємне переміщення та центрування втулки і орієнтуючого елемента, конструктивні схеми якого показані в таблиці 1.

При певному взаємному положенні контрольованої втулки і орієнтатора для випадку, коли місцеве відхилення форми втулки перевищить значення, на яке повинна зреагувати система контролю, може скластись відгук, варіанти якого наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Схеми забезпечення вимірювального переміщення та центрування втулки

Ознака	Конструктивний варіант	Ознака	Конструктивний варіант
A1		A5	
A2		A6	
A3		A7	
A4		A8	

Таблиця 2 – Схеми конструктивних варіантів здійснення видів відгуку системи на суміщення ключа орієнтації із заданою кутовою зоною

Вид відгуку	Конструктивний варіант відгуку	
	для біжучого моменту	у фіксованому положенні втулки відносно орієнтатора
1	2	3
R1		
R2		
R3		
R4		
R5		

Продовження таблиці 2

1	2	3
R6		
R7		

б) спосіб фіксації втулки відносно вузла, що забезпечує транспортування втулки в задане кутове положення:

- 1) за рахунок зрівноваження, при певному кутовому положенні ключа орієнтації, крутного і гальмівного моментів, що діють на втулку;
- 2) за рахунок зменшення, в заданому кутовому положенні ключа орієнтації, діючого на втулку крутного моменту до величини, меншої від моменту тертя по торцевій поверхні втулки;
- 3) силами тертя за рухунок радіального зміщення втулки під дією радіальних чи тангенціальних струмин;

в) спосіб утворення керуючого сигналу про відносну кругову рухомість втулки і орієнтуючого пристрою:

- 1) наявність чи відсутність електричного контакту між втулкою і орієнтуючим пристроєм;
- 2) оцінка наявності кругового переміщення об'єкта, тимчасово з'єднаного з контрольованою втулкою, з використанням пари "освітлювач-фотодіод";
- 3) те ж, для пневматичної пари "сопло-заслінка";
- 4) використання пристроїв технічного зору;
- 5) оцінка радіального зміщення втулки більш як на розраховану наперед величину.

г) просторове положення осі втулки:

- 1) вертикальне;
- 2) горизонтальне;
- 3) під постійним кутом;
- 4) із змінюваним кутом в процесі контролю.

Поряд із схожими рисами пневматичні пристрої для контролю відхилень форми мають ряд особливостей у порівнянні з пристроями кутового орієнтування деталей типу втулок з ключем орієнтації у вигляді місцевих відхилень форми внутрішньої циліндричної поверхні втулки:

- для пристроїв кутового орієнтування втулка, як правило, має один ключ орієнтації, відносно якого її потрібно встановити у задане кутове положення, якщо ж мова йде про контроль відхилень форми, то місцевих відхилень може бути декілька, наприклад, трьохвершинна огранка;

- для більшості конструктивних схем орієнтуючих пристроїв втулка в початковий момент знаходиться у випадковому кутовому положенні відносно орієнтуючого органу, і для встановлення її у задане кутове положення необхідно передбачити повертання цієї втулки у фіксованому відносно орієнтатора положенні на кут від 0 до 360°;

- в контрольних пристроях розглядуваного типу необхідно просканувати всю поверхню контрольованої втулки, щоб зробити висновок про її придатність у випадку, коли відхилення форми не перевищують заданих, а якщо наявні декілька місцевих відхилень форми, то достатньо виявити перше з них, яке перевищує допустиме, і на основі цього зробити висновок про брак контрольованої втулки;

- кількісні характеристики ключа орієнтації, як правило, суттєво більші за відхилення форми поперечного перерізу циліндричних поверхонь, що підлягають контролю;

- при суміщенні операції транспортування втулки з контрольною вимоги щодо затрат часу на здійснення контрольної операції у порівнянні з процесом орієнтування можуть бути значно меншими;

- контроль відхилень форми передбачає пошук найбільшого відхилення контрольованого профілю відносно прилягаючого кола або циліндра, в той час як ключ орієнтації у вигляді радіального отвору, назу має прив'язку в круговому напрямі.

Переходячи до порівняльного аналізу і вибору раціональної конструктивної схеми контрольного пристрою, а саме виходячи з останньої особливості, треба враховувати, що використання фіксованого розміру орієнтуючого штока не може відтворити прилягаючої поверхні у разі коливання дійсних розмірів контрольованої втулки, однак для непрямої оцінки відхилень форми це може бути прийнятним. Тому конструктивні схеми з відгукками R1, R2, R7 (табл.2) придатні для контролю значних відхилень форми. Схеми R3, R4, R6 з фіксованими віддальми до фрикційної поверхні скануючого вимірювального переміщення втулки є порівняно більш чутливими. Це менші відхилення форми здатна виявити схема R5 або її аналог приводу A2 (табл.1), якщо забезпечити рухомість у напрямі до поверхні втулки приводному тангенціальному соплу. Дещо гірші результати може показати схема приводу A7. Методика розрахунку силової взаємодії тангенціального повітряного потоку з втулкою при протіканні його у криволінійному зазорі між штоком і внутрішньою поверхнею втулки показана у [2]. Для розглядуваних контрольних пристроїв найбільше зацікавлення викликає взаємодія з внутрішньою поверхнею втулки радіального повітряного потоку.

На основі [2,3,4] та власних досліджень загальне зусилля F_h , що діє на втулку від радіальної струмнини, визначимо як суму радіальних сил:

$$F_h = F_{p1} + F_{ст.с} + F_{шв} - F_{тр} + F_{ст.з.с}, \quad (1)$$

де F_{p1} – реактивна сила, яка утворюється при попаданні потоку на втулку і розтіканні його поверхнею втулки при повороті на 90°;

$F_{ст.с}$ – сила від дії статичного тиску на поверхню втулки в зоні, розміщеній проти сопла;

$F_{шв}$ – сила швидкісного напору за межами сопла;

$F_{тр}$ – сила тертя між повітряним потоком і внутрішньою поверхнею втулки;

$F_{ст.з.с}$ – сила від дії статичного тиску поза соплом.

Для докритичного режиму протікання повітря через сопло, на основі [3],

$$F_{p1} = \frac{G_o^2 \cdot F_{дот}}{\pi^2 \cdot r_c^2 \cdot \rho_o}, \quad (2)$$

де G_o – масовий розхід повітря через сопло;

$F_{дот}$ – площа струмнини в зоні набігання на внутрішню поверхню втулки;

r_c – радіус сопла;

ρ_o – щільність повітря на зрізі сопла, яка, на основі [3], для ізотропного протікання:

$$\rho_o = \rho_a \left(\frac{P_o}{P_a} \right)^{\frac{1}{k}}, \quad (3)$$

де k – показник адіабати; для повітря $k = 1,4$;

ρ_o, P_a – відповідно щільність і абсолютний тиск повітря оточуючого середовища;

P_o – тиск повітря на виході з сопла.

Розхід повітря G_o для цих умов можна визначити за спрощеною залежністю [3]:

$$G_o = \mu \cdot F_o P_{ax} \sqrt{\frac{2}{RT_a} \left[\frac{P_o}{P_{ax}} \left(1 - \frac{P_o}{P_{ax}} \right) \right]}, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт розходу, який визначає співвідношення дійсного і теоретичного розходу;

F_o – площа прохідного отвору дроселя, яким є „сопло - поверхня втулки”;

P_{ax} – тиск повітря на вході в сопло;

R – газова стала; для повітря $R = 287,14$ Дж/(кг·К).

Аналіз отриманих експериментально графічних залежностей коефіцієнтів розходу μ від величини середнього зазору h , за яким приймається використовувана в (4) площа F_o , дозволив встановити наявність характерних точок, що дозволяють лінеаризувати шукану залежність на окремих ділянках: умовний початковий зазор h_o і значення $\mu = 0$; зазор відносного екстремуму h_{max} і відповідний коефіцієнт розходу μ_{max} ; зазор відносного перегину характеристики $h_{пр}$, при якому $h = r_c/2$ та відповідний коефіцієнт $\mu_{пр}$; зазор $h_v = r_c$, при якому параметри повітряного потоку практично відповідають вільному витіканню струмнини, та коефіцієнт розходу μ_v . Числові значення змінних h_o , h_{max} , μ_{max} , $\mu_{пр}$, та μ_v можна встановити за регресійними залежностями із змінними факторами r_c , $P_{ax} - P_a$, h_m , $R_{вт}$ після проведення відповідного експериментального дослідження факторного поля, яке цікавить експериментатора.

Як показали проведені експериментальні дослідження, з наступним порівнянням отриманих даних з теоретичними розрахунками значень сили дії радіальної струмнини на внутрішню поверхню втулки, вклад складових $F_{шв}$ та $F_{тр}$ не перевищував 5% від сили F_h . Внаслідок цього можна вважати достатнім проводити розрахунок F_h за складовими $F_{р1}$, $F_{ст.с}$, $F_{ст.з.с}$. Для розрахунку величини $F_{ст.с}$ і $F_{ст.з.с}$ необхідно мати дані про розподіл тиску по поверхні втулки в зоні сопла.

Експериментально отримані графіки зміни надлишкового тиску ($P - P_a$) на внутрішній поверхні втулки, в залежності від віддалі r до центра одиначної радіальної струмнини, вдалось апроксимувати лінійними ділянками, розміщення яких показано на рисунку 1. Виділені характерні точки графіків, що описуються співвідношенням змінних r і $P - P_a$:

1 – радіус $k_c \cdot r_c$ і тиск в цій точці $P_o - P_a$ характеризує межі площі $F_{лот}$, використовуваної в ф-лі (2);

2 – r_c і тиск $k_p (P_o - P_a)$ характеризують кінцевий сектор від радіуса $k_c r_c$ до радіуса r_c , тиск в якому спадає від P_o до $k_p (P_o - P_a)$;

3 – радіус $r_{кр}$, при якому відбувається максимальне зниження надлишкового тиску $P_{кр} - P_a$ або різка зміна його характеру розподілу;

4 – віддаль r_n до точки перегину графіка і відповідний тиск $P_n - P_a$;

5 – віддаль до точки додаткового перегину $r_{нд}$ і відповідний тиск $P_{нд} - P_a$;

6 – максимальна відстань r_{max} , на якій припиняється дія струмнини на стінку втулки, і надлишковий тиск в цій точці рівний нулю.

Характерною особливістю протікання струмнини в досліджуваних умовах є те, що для будь-яких значень r в межах взаємодії повітряного потоку з втулкою зміна тиску P з достатньою точністю апроксимується лінійними залежностями на ділянках

$0,005 < h \leq 0,1$; $0,1 < h \leq 0,4$; $0,4 < h \leq 1,0$; де h виражено в мм. При цьому відзначена залежність справедлива для всіх розглядуваних значень P_{ax} , внутрішнього радіуса втулки $R_{вт}$, зазору h_m між штоком і втулкою при їх співвісному положенні, r_c і кута β , відраховуваного в площині, перпендикулярній до осі сопла, та зміні $0 \leq \beta \leq \pi/2$ при його нульовому значенні від напрямку твірної втулки, що перетинається з віссю сопла.

При проведенні експериментальних досліджень з метою отримання даних для регресійної оцінки характеру розподілу тиску для кожної відзначеної ділянки зміни h рівні вхідних факторів вибирались близькими до плану дробного факторного експерименту типу 2^{6-2} з використанням окремих центральних точок плану, що дозволило максимально охопити факторний простір і зменшити кількість експериментів. Масив вихідних даних, отриманих у результаті проведення експериментів, використовувався при формуванні коефіцієнтів системи рівнянь для визначення шуканих коефіцієнтів за методом найменших квадратів для лінійного виду рівняння регресії. Після розв'язку отриманих систем рівнянь та перевірки значимості коефіцієнтів рівнянь регресії отримані результати наведені нижче тільки для найбільш перспективного діапазону зміни h від 0,005 мм до 0,1 мм (лінійні розміри в мм; тиск в МПа, кутові величини в радіанах):

$$P_0 = P_a + 0,039 - 0,09 \cdot h - 0,134 \cdot r_c + 0,91(P_{ax} - P_a) - 0,02 \cdot h_m - 0,00173 \cdot R_{вт}; \quad (5)$$

$$r_{кр} = 0,2 + 1,002 \cdot r_c + 0,024 \cdot h; \quad (6)$$

$$P_{кр} = P_a + 0,015 - 0,278 \cdot h - 0,0004 \cdot r_c - 0,213(P_{ax} - P_a) - 0,012 \cdot h_m + 0,0019 \cdot R_{вт} - 0,0015 \cdot \beta; \quad (7)$$

$$r_{п} = 0,046 - 2,283 \cdot h + 2,768 \cdot r_c + 0,761(P_{ax} - P_a) - 0,543 \cdot h_m + 0,101 \cdot R_{вт} + 0,0021 \cdot \beta; \quad (8)$$

$$P_{п} = P_a + 0,00933 - 0,09 \cdot h - 0,00398 \cdot r_c + 0,029(P_{ax} - P_a) - 0,015 \cdot h_m + 0,0008 \cdot R_{вт} - 0,001 \cdot \beta; \quad (9)$$

$$r_{нд} = 2,82 - 10,198 \cdot h + 0,14 \cdot r_c + 10,7(P_{ax} - P_a) - 4,797 \cdot h_m + 0,212 \cdot R_{вт} - 0,124 \cdot \beta; \quad (10)$$

$$P_{нд} = P_a + 0,0035 - 0,016 \cdot h - 0,003 \cdot r_c - 0,0029(P_{ax} - P_a) - 0,0076 \cdot h_m + 0,00037 \cdot R_{вт} - 0,0002 \cdot \beta; \quad (11)$$

$$r_{max} = 9,252 - 20,334 \cdot h - 2,913 \cdot r_c + 16,161(P_{ax} - P_a) - 14,421 \cdot h_m + 0,389 \cdot R_{вт} - 0,078 \cdot \beta. \quad (12)$$

Коефіцієнти k_c і k_p , що характеризують точки 1 і 2, знайдені на основі аналізу експериментальних графіків розподілу тиску. На основі методу найменших квадратів отримані єдині для всіх інтервалів зміни h залежності (h задається в міліметрах):

$$k_c = 0,99 - 0,71 \cdot h; \quad (13)$$

$$k_p = 0,7 - 0,47h. \quad (14)$$

На основі (13) є можливість розрахувати

$$F_{дот} = \pi (k_c \cdot r_c)^2. \quad (15)$$

Виходячи з представлених рисунком 1 та визначених залежностями (5-12) координат шуканих точок, проміжні значення тиску P описуються рівняннями прямих, що проходять через дві сусідні точки.

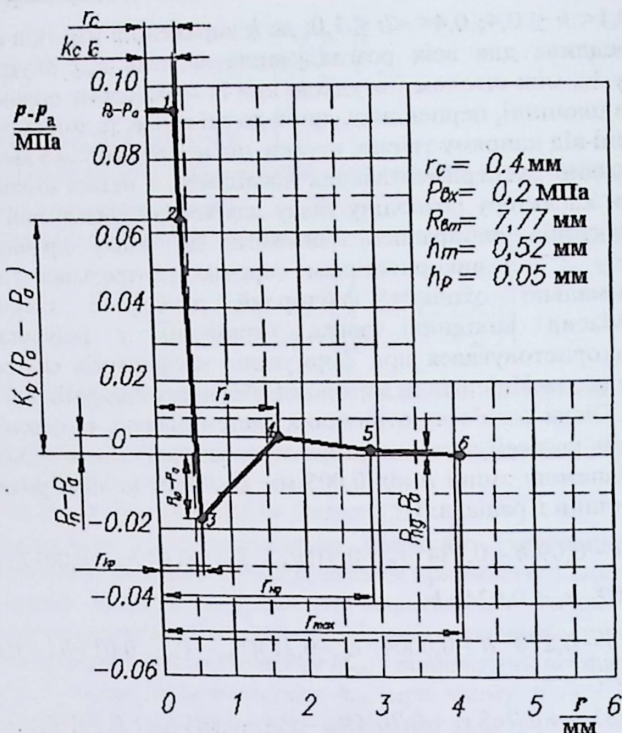


Рисунок 1 – Приклад лінійно-шматкової апроксимації зміни надлишкового тиску на внутрішній поверхні втулки в залежності від відстані до центра одиничної радіальної струмнини.

Для зазору $h < 0.005$ мм надлишковий тиск по внутрішній поверхні втулки розподілений тільки в зоні сопла і рівний за значенням P_{ox} .

На основі (5) та графічної залежності рисунка 1

$$F_{cm,c} = 0.5\pi \cdot r_c^2 (P_o - P_a) [k_c^2 (1 - k_p) + k_p + 1] . \quad (16)$$

Для знаходження значення складової $F_{ст,з,с}$ розглянемо дію на втулку вертикальної складової $F_{ст,з,с,ij}$ (рисунок 2) від елементарної ділянки з центром у точці M_{ij} , яка лежить на втулці, але задається на умовній розгортці її внутрішньої поверхні, показаній на нижній проекції. На розгортці положення точки M'_{ij} характеризується кутом β_i і радіусом r_j , тобто

$$\beta_i = \frac{\pi}{2 \cdot n} (i - 0.5); \quad 1 \leq i \leq n; \quad (17)$$

$$r_j = r_c + \Delta r (j - 0.5); \quad 1 \leq j \leq t, \quad (18)$$

де n – кількість рівномірних кутових секторів, на які розбитий кут $\pi/2$ сопла;

t – кількість рівномірних інтервалів Δr , на які розбитий шлях взаємодії струмнини з втулкою на розгортці її внутрішньої поверхні.

Виходячи з цього,

$$f_{ij} = \frac{r_j \sin \beta_i}{R_{om}}, \quad (19)$$

а шукана вертикальна складова від взаємодії з елементарною ділянкою

$$F_{ст.з.с.ij} = \frac{\pi(P_{ij} - P_a) \cdot \Delta r \cdot r_j}{2 \cdot n} \quad (20)$$

Тоді

$$F_{ст.з.с.} = 4 \sum_{j=1}^i \sum_{i=1}^n F_{ст.з.с.ij} \quad (21)$$

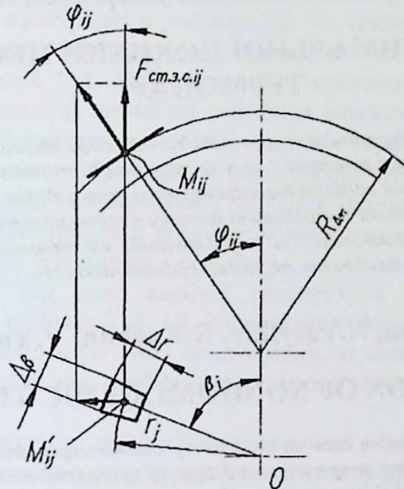


Рисунок 2 – Схема розрахунку сили, яка виникає під дією статичного тиску.

Висновки

Наведені виконавчі варіанти та порівняльний аналіз визначальних структурних ознак пневматичних пристроїв контрольно відхилень форми товкостінних втулок у процесі їх транспортування дають можливість скомпонувати найбільш раціональну конструктивну схему контрольного пристрою для конкретних технологічних завдань.

Розраховане за (1) значення радіальної сили F_h є вихідним для оцінки моменту тертя $M_{тр}$, що утримує втулку від провороту відносно штока, при зазорі h між ними. Цей зазор можна вважати граничним відхиленням форми внутрішньої поверхні втулки.

Оцінка впливу динамічних навантажень на можливість розфіксації втулки з врахуванням як руху самої втулки, так і траєкторії руху елементів контрольно-транспортуючого пристрою потребує подальшого дослідження.

Література

1. А.с.607695 СССР, МКИ В 23 р 19/02. Пневматическое устройство для ориентации втулок при сборке внутренних звеньев приводных цепей / С.А. Дубиняк, П.Д. Кривый, И.И. Зубченко, А.В. Куцевич, Л.И. Крюков, Я.Д. Клевс. - №2349924/25-27; Заявлено 14.04.76; Опубл. 25.05.78, Бюл. №19.-4 с.
2. Куцевич А.В. Особливості визначення співвідношення конструктивних параметрів струминних пристроїв кутового орієнтування втулок при складанні внутрішніх ланок приводних ланцюгів // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Т.4, число 3. – 1999. – С.115 – 123.
3. Дмитриев В.Н. Основы пневмоавтоматики / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градещкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
4. Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник / Под ред. Е.В.Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.

Одержано 20.12.2006 р.