Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, No. 3, 33-38
ISSN 2222-8594 (Print), ISSN 2415-7694 (Online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.1515/agriceng-2018-0005

УДК 62.522:631.33.53

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИСІВНИХ СИСТЕМ

В. В. Аулін, М. І. Черновол, А. О. Панков

Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна.

Кореспонденція авторів: aulinvv@gmail.com.

Історія статті: отримано – травень 2018, акцептовано – вересень 2018.
Бібл. 9, рис. 5, табл. 0.

Анотація. Застосування пневмоструминних елементів у висівних системах дозволяє підвищити ефективність роботи посівних машин. Однак використання силових струминних елементів в посівній техніці ускладнюється недостатньою вивченістю їх робочих процесів. В роботі розглянуто застосовувані експериментальні методи досліджень та запропоновано аналітичний підхід у розробці силових струминних елементів, на підставі якого визначено їх розмірно-енергетичні характеристики та режими роботи.

Ключові слова: струминний елемент, висівна система, пневмоніка, автоматизація, моделювання, сівба, потік, процес.

Постановка проблеми

Подальший розвиток агропромислового комплексу (АПК) висуває нові вимоги до формування матеріально-технічної бази машин, до їх конструкцій і механіко-технологічних принципів дії. Тому в даний час актуальним є питання розробки та впровадження у виробництво нових видів сільськогосподарської техніки (СГТ) з мінімальною енергетикою виробництва і експлуатації, високою надійністю, автоматизацією робочого процесу і можливістю його керованості на кожній ділянці переміщення машини в будь-який момент часу її функціонування. При цьому технічні засоби повинні бути достатньо прості, дешеві і довговічні.

Аналіз останніх досліджень

Для виконання зазначених умов досліджується, серед інших, напрямок по розробці і застосуванню в СГТ пристроїв, що працюють із застосуванням пневмоструминних елементів. Струминна техніка – це порівняно новий напрямок автоматики, але перспективність її застосування у машинобудуванні і виробництві є значною.

У даний час із застосуванням управляючих і силових струминних елементів розроблені висівні системи (рис. 1), що не мають світових аналогів, і на основі яких створені нові посівні машини.

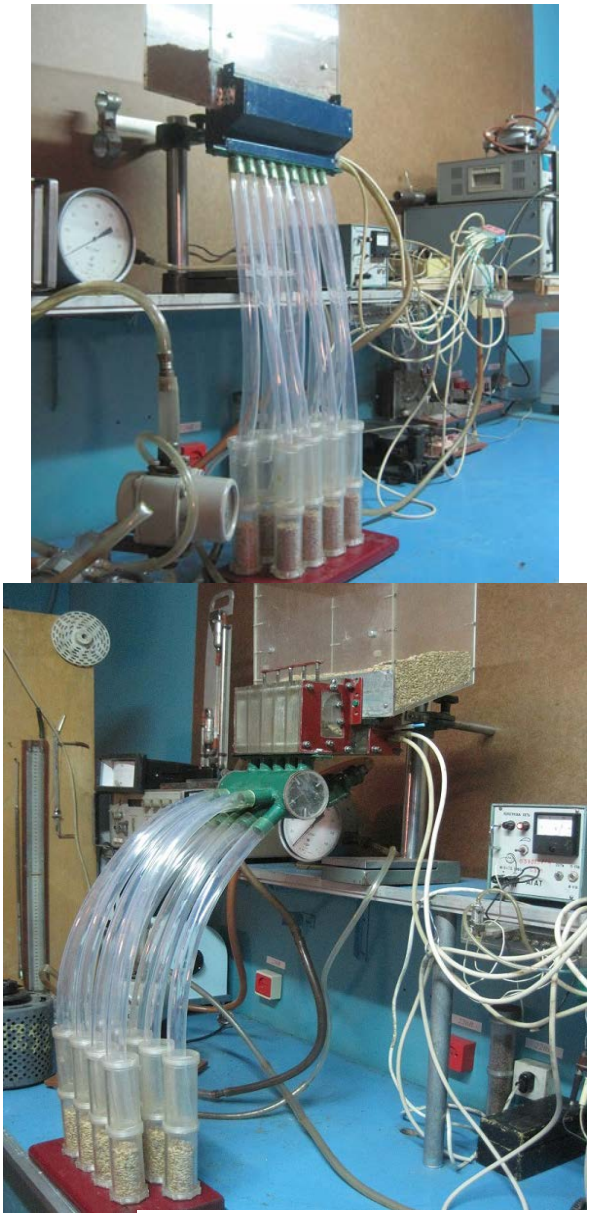

Рис. 1. Загальний вигляд висівних пристроїв на основі пневмоструминних елементів (*джерело: розроблено авторами*).

Однак процеси, що відбуваються в струминних елементах при взаємодії потоків в обмеженому об'ємі складні і недостатньо вивчені. У зв'язку з цим виникає ряд ще не з'ясованих до кінця питань. До них відносяться: проблема оптимального вибору геометрії струминних елементів, отримання заданих характеристик [1], а також дослідження і розробка виконавчих струминних силових елементів.

За винятком окремих випадків, струминні виконавчі органи або силові елементи мають дуже обмежене застосування [5, 8], до того ж не в СГТ. Застосування силових струминних елементів в СГТ стримується рядом причин – відсутністю розроблених стандартних зразків у вигляді типорозмірних рядів, та їх характеристик за такими параметрами як коефіцієнти підсилення, швидкодія, показники вихідних процесів і частотні показники [6, 9]. Тому необхідна розробка нових струминних виконавчих силових елементів і підвищення ефективності їх роботи. Вирішення цих завдань можливе лише на основі моделювання, теоретичних та експериментальних досліджень аеродинамічних та економічних характеристик струминної техніки.

Аналіз останніх досліджень

В даний час в дослідженні і розробці силових струминних елементів переважну роль відіграють не аналітичні, а експериментальні методи, основними з яких можна вважати наступні [4]:

– метод проб і помилок, при якому дослідник варіює геометричні розміри, спираючись на свою інтуїцію та більш або менш повні уявлення про механізм явищ;

– метод, заснований на візуалізації течій в елементах, полягає в тому, що потоки тим чи іншим способом роблять видимими. Змінюючи геометричні розміри, досягають потрібного напрямку потоків. Цей метод є різновидом методу проб і помилок в тому сенсі, що він не дає певних рекомендацій по зміні геометричних розмірів, але відрізняється наочністю;

– експериментально-статистичні методи, що дозволяють відшукати оптимум при вивченні об'єктів, механізму явищ, в яких невідомі або відомі не повністю (завдання «чорного ящика»). Ці методи дозволяють формалізувати процес емпіричного пошуку значень незалежних змінних, або факторів, при яких залежна змінна, розглянута як критерій якості, приймає оптимальне значення.

Експериментально-статистичні методи успішно використовуються для розв'язування завдань оптимізації струминних елементів. Досвід показав, що від моменту створення працездатних елементів до розробки методів розрахунку їх характеристик проходить кілька років. В більшості випадків достатньо створити один – два елемента, на базі яких може будуватися система логічних або управляючих пристроїв. Тому в ряді випадків перевага віддається експериментальним методам, що дозволяє без великої попередньої роботи, за мінімальний час створити конструкцію елемента з потрібними характеристиками [4].

У той же час відомо, що аналітичними методами розрахунку можна вирішити цілий клас завдань оптимізації струминних елементів [7].

Мета досліджень

Встановлення особливостей і аналітичних закономірностей при передачі механічної енергії плоским струменем в силових струминних елементах, визначення та оптимізація їх розмірно-енергетичних характеристик.

Результати досліджень

Тривимірна модель досліджуваного силового струминного елемента (рис. 2) складається з підвідних каналів (для живлення і управляючих сигналів), камери змішування і вихідних каналів (для вентиляції і вихідних сигналів).

Рис. 2. Тривимірна модель силового струминного елемента (*джерело: розроблено в [3], с. 926*).

Кінцевою метою дослідження струминних елементів є їх оптимізація, тобто одержання найкращого значення критерію, що характеризує якість елемента і пошук таких характеристик, які максимізували величину критерію. Зазвичай при дослідженні струминних елементів задається робочий тиск живлення p_s, розміри b_s і h_s сопла живлення, площа сопла живлення s_s, а потім визначається геометрична конфігурація елемента і витрата повітря Q_s через сопло живлення. При оптимізації струминних елементів здійснюється пошук такого поєднання геометричних розмірів, яке забезпечить максимально якісну роботу досліджуваного елемента. Отже, виявлено, що незалежними змінними (факторами) при цьому є конфігурація геометричних розмірів елемента [4].

Єдиною вимогою, якій повинна задовольняти ця конфігурація**,** є виконання елементом основних функцій і визначення величин параметрів, що входять в умови працездатності. Для дискретного елемента є достатнім, щоб він переключався при подачі сигналу управління з певною частотою і повертався у вихідний стан після зняття сигналу, що і є критерієм для даного типу елементів.

При цьому протягом часу спрацьовування струминного елемента необхідно забезпечити роботу висівного пристрою із заданою частотою управляючих сигналів (приблизно 12...14 Hz).

Встановлено, що істотним недоліком струминних елементів, які використовують взаємодію струменя зі стінкою, є чутливість до навантаження, яка полягає в тому, що на тиск і витрату робочого тіла при перемиканні елемента помітно впливає навантаження. При цьому, чим більше опір навантаження, тим менше тиск і витрата спрацювання. Зменшення тиску спрацювання по мірі збільшення тиску на виході є наслідком неправильної організації потоків на виході.

В силових струминних елементах (рис. 2) відбувається подвійне перетворення енергії: в соплі живлення елемента потенційна енергія тиску перетворюється в кінетичну енергію струменя, а в приймальному каналі відбувається зворотне перетворення кінетичної енергії в потенційну енергію тиску. Ефективність цього перетворення в значній мірі визначає досконаліть струминного елемента.

Передача енергії струменями, наприклад, в датчиках типу «сопло-приймальний канал» круглого перерізу розглядається з припущенням, що тиск в приймальному каналі дорівнює середньому тиску гальмування частини струменя, потрапляючої в цей канал. Однак відносно силових струминних елементів такий підхід не враховує того, що при взаємодії струменя з приймальною частиною виникають складні вторинні течії, пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі.

Особливістю течії в області приймального каналу є наявність зворотного потоку, що витікає з нього. Причиною його виникнення є нерівномірний розподіл швидкостей в струмені: швидкісний напір на осі струменя максимальний, а по мірі віддалення від осі він зменшується, знижуючись до нуля.

Тому частина витрати струменя, яка не проходить через навантаження, утворює зворотний потік. Зворотні течії виникають у периферійній частині приймального каналу, де динамічний напір набігаючого потоку порівняно невеликий.

Зворотний потік може поширюватися в напрямку осі струменя, або відхилятися від цього напряму в результаті взаємодії з периферійними частинами струменя. Напрямок течії зворотного потоку залежить від співвідношення ширини струменя і приймального каналу.

Якщо ширина приймального каналу мала у порівнянні з шириною струменя, то картина течії аналогічна натіканню струменя на плоску стінку, і в цьому випадку тиск в приймальному каналі дорівнює тиску гальмування. Якщо ширина приймального каналу істотно більша за ширину струменя, то картина течії аналогічна втіканню струменя у глухий кут [4]. Зворотний потік при цьому поширюється паралельно осі струменя. В реальних струминних елементах картина течій є проміжною в порівнянні з зазначеними граничними випадками.

Розглянемо рух струменя в силовому елементі, беручи за основу схему течії в датчику типу «сопло-приймальний канал» (рис. 3).

При цьому зробимо наступні припущення: на відміну від осесиметричного струменя круглого перерізу у датчиках, в даному випадку струмінь плоский, з шириною відповідно в перетинах сопла живлення b_s і приймального каналу b_{rc}.

Виділимо ділянку робочого середовища *ABCD*. Ця ділянка обмежена площиною *AB*, нормальною до осі струменя і проходить поблизу входу в приймальний канал там, де структура струменя ще не порушена, і площиною *CD*, проведеної нормально до осі приймального каналу на такій відстані від його входу, де рух стає рівномірним. Для виділеної ділянки запишемо рівняння імпульсів у проекції на осі струменя, з урахуванням тієї обставини, що в гідроаеродинаміці замість маси матеріальної точки розглядається маса одиниці об'єму, тобто щільність ρ, а замість імпульсу – фігурує вектор густини імпульсу, що збігається за змістом з вектором густини потоку маси, тобто $p = \rho v$. Тоді:

$$p_q \omega_q = \rho v_q \omega_q = I_{1x} + I_{2x} + I_{3x}, \qquad (1)$$

де p_q – тиск на виході (в перерізі *CD*); v_q – швидкість робочого тіла на виході (в перерізі *CD*); ω_q – площа вихідного перерізу (перерізу *CD*); I_{1x} – імпульс струменя у перерізі *AB*; I_{2x} – проекція на вісь струменя імпульсу скидаємого потоку, що не надходить через перетин *CD* приймального каналу. Цей потік складається із зворотного потоку, що витікає з приймального каналу і відхиляємого потоку; I_{3x} – проекція на вісь імпульсу струменя потоку в перерізі *CD*.

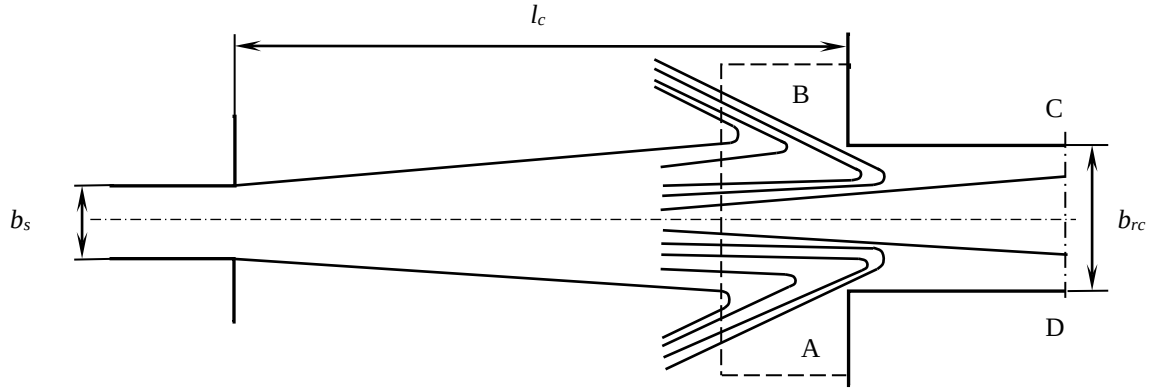

Рис. 3. Розрахункова схема до дослідження передачі механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі (позначення в тексті) (*джерело: розроблено авторами*).

Визначимо числові вирази для відповідних імпульсів.

$$I_{1x} = 2\int_0^y \rho u^2 dy = 2 \cdot 1{,}35Ic = Ik_j, \qquad (2)$$

де y – поперечна координата струменя, m;

u – швидкість в точці відповідного перерізу струменя, m/s;

I – імпульс струменя на виході з сопла живлення, m·kg/s;

c, k_j – коефіцієнти пропорційності.

Імпульс струменя на виході з сопла живлення визначається за формулою:

$$I = \rho b_s u_s, \qquad (3)$$

де u_s – швидкість повітря на виході з сопла живлення, m/s;

$$k_j = 2{,}7c, \qquad (4)$$

$$c = 0{,}5\frac{b_{rc}}{x'} tg\beta, \qquad (5)$$

де β – кут нахилу стінки силового струминного елемента, $\beta = 16^0$.

x' – поправний коефіцієнт:

$$x' = \frac{b_s}{2}\left(\frac{1}{tg\beta} - \frac{m}{Re}\right) + l_c, \qquad (6)$$

де Re – число Рейнольдса;

m – стала, що залежить від кута нахилу стінки силового струминного елемента, якщо $\beta = 16^0$ та $m \approx 3 \cdot 10^4$, згідно [4];

l_c – довжина робочої камери струминного елемента, m.

Приймаємо $l_c \approx 0{,}009$ m.

Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{u_s D_0}{\nu}, \qquad (7)$$

де D_0 – умовний діаметр сопла живлення, м, D_0 = 0,0055 m;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, ν = 0,000015 m^2/s.

Площа сопла живлення при D_0 = 0,0055 m складе S_s = 0,000024m^2. Приймаючи витрату через сопло живлення Q_s = 0,0022 m^3/s, отримаємо швидкість повітря на виході з сопла живлення: u_s = 91,7m/s. Тоді за формулою (7), Re = 33623.

Враховуючи значення параметрів, за формулами (4) – (6) маємо: x' = 0,0116; x = 0,037; k_j = 0,1.

Імпульс потоку у вихідному каналі визначається виразом:

$$I_{3x} = \int_0^{b_{rc}} \rho u^2 dy = \frac{\alpha_{0rc} \rho Q_{rc}^2}{b_{rc}}, \qquad (8)$$

де α_{0rc} – коефіцієнт кількості руху в перерізі CD. Емпірично приймається в розмірі α_{0rc} = 0,8…1,2.

Підставивши залежності (2) і (8) в рівняння (1), отримаємо тиск у вихідному каналі силового струминного елемента, або його вихідну характеристику:

$$p_{rc} = \frac{\rho Q_s^2}{b_{rc}^2}\left[\xi k_j \frac{b_{rc}}{b_s} + \alpha_{0nк}\frac{Q_{rc}^2}{Q_s^2}\right], \qquad (9)$$

де Q – витрата робочого тіла, m^3/s.

ξ – поправка, яка враховує дію потоку, що скидується, ξ = 1,25.

Витрата через сопло живлення дорівнює:

$$Q_s = \mu_{fr} S_s \sqrt{\frac{2}{\rho} p_s}, \qquad (10)$$

де μ_{fr} – коефіцієнт витрати; ρ – щільність повітря. Приймаємо ρ = 1,225 kg/m^3; p_s – тиск живлення, Па.

Із виразу (10) визначимо коефіцієнт витрати:

$$\mu_{fr} = \frac{Q_s}{S_s\sqrt{\frac{2}{\rho} p_s}}. \qquad (11)$$

Оскільки тиск живлення p_s = 7000 Pa, то отримаємо μ_{fr} = 0,857.

Подамо рівняння (9) у безрозмірному вигляді:

$$\frac{p_{rc}}{p_s} = \mu_{fr}^2\left(\frac{b_s}{b_{rc}}\right)^2\left[\xi k_j \frac{b_{rc}}{b_s} + \alpha_{0rc}\left(\frac{Q_{rc}}{Q_s}\right)^2\right], \qquad (12)$$

Умовно приймаючі витрати в перерізах AB и CD постійними і враховуючи значення параметрів: μ_{fr} = 0,857, b_s = 0,002m, b_{rc} = 0,003m, ξ = 1,25, k_j =0,1, α_{0rc} = 1,0, $Q_{rc} = Q_s$ = 0,0022 m^3/s, маємо p_{rc}/p_s = 0,387.

Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента здійснимо на основі рекомендацій, розроблених в роботі [2]. В якості основної характеристики приймаємо ККД силового елемента по тиску – η_p. Розрахункова схема силового струминного елемента представлена на рис. 4.

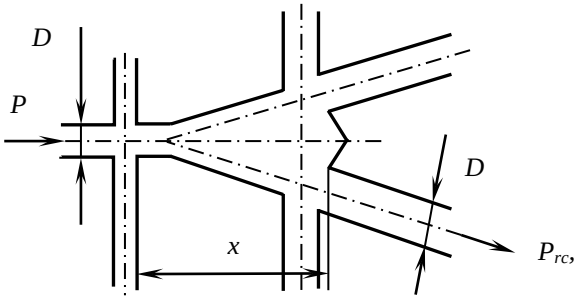

Рис. 4. Розрахункова схема силового струминного елемента (позначення в тексті) (*джерело: розроблено авторами*).

Позначимо: P_s – тиск живлення силового струминного елемента, Па. Приймаємо P_s = 7000 Pa; P_{rc} – тиск у приймальному каналі, Па; Q – витрата повітря на виході з приймального каналу, м^3/с. З умови сталості витрати приймаємо $Q \approx 0{,}0022$ m^3/s при тиску живлення $P_{жив}$ = 7000 Pa; a_0 – ширина живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо a_0 = 0,002 m; b_h – висота живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо b_h = 0,016 m; f_{cs} – площа перерізу сопла живлення, mm^2, $f_{cs} = a_0 b_h = 3{,}2 \times 10^{-5}$ m^2; a_w – ширина приймального каналу. Приймаємо a_w = 0,003 m; b_{hr} – висота приймального каналу.

Приймаємо b_{hr} = 0,016m; f_{cr} – площа перерізу приймального каналу, mm², $f_{cr} = a_w b_{hr} = 4{,}8\times10^{-5}$ m²; x – відстань між кромкою живлячого сопла та входом в приймальний канал, mm. Приймаємо x = 0,009 m; D_0 – еквівалентний діаметр сопла живлення, m; D_{rc} – еквівалентний діаметр приймального каналу, м.

Еквівалентний діаметр для повітряпроводів прямокутного перерізу визначається за формулою:

$$D_e = 1{,}3\frac{(a\cdot b)^{0{,}625}}{(a+b)^{0{,}25}}, \qquad (13)$$

де a – ширина перерізу, mm;

b – висота перерізу, mm.

При a = 0,002 m, b = 0,016 m, за формулою (13) отримуємо що D_0 = 0,0055 mm, а D_{rc} = 0,007 m.

Розрахунок проведемо, виходячи з розміщення приймального каналу на початковому ділянці повітряного струменя. Для силових струминних елементів у даному випадку умову запишемо у вигляді:

$$\frac{x}{D_0} \le 5. \qquad (14)$$

Приймаючи значення даної умови $x/D_0 = 9 / 5{,}5 \approx \approx 1{,}6$, визначаємо тиск в приймальному каналі P_{rc}:

$$P_{rc} = P_s\cdot\psi\cdot\left[c_1 - c_2\frac{D_{rc}}{D_0} + c_3\left(\frac{D_{rc}}{D_0}\right)^{-1} - c_4\left(\frac{D_{rc}}{D_0}\right)^{-2}\right], \qquad (15)$$

де ψ – поправочний коефіцієнт, що враховує співвідношення діаметрів приймального каналу і сопла живлення (ψ = 1,0…1,4). Приймаємо ψ = 1,4; c_1, c_2, c_3, c_4, – коефіцієнти пропорційності:

$$c_1 = 1 + \frac{1 - 0{,}2\frac{x}{D_0}}{\frac{x}{D_0}}; \qquad (16)$$

$$c_2 = 1 + 0{,}0039\left(\frac{x}{D_0}\right)^3; \qquad (17)$$

$$c_3 = \frac{\left(0{,}5 - 0{,}1\frac{x}{D_0}\right)^2}{0{,}252\frac{x}{D_0}}; \qquad (18)$$

$$c_4 = \frac{\left(0{,}5 - 0{,}1\frac{x}{D_0}\right)^3}{0{,}126\frac{x}{D_0}}. \qquad (19)$$

Підставивши у формули (16)–(19) x/D_0 = 1,6, отримаємо c_1 = 1,425; c_2 = 1,016; c_3 = 0,287; c_4 = 0,195.

Враховуючи отримані значення величин P_s, ψ, $c_1 \ldots c_4$, D_0 і D_{rc}, отримаємо P_s = 2350 Pa.

Значення розрахункового ККД бістабільного струминного силового елемента по тиску становить:

$$\eta_p = \frac{P_{rc}}{P_s} = \frac{2350}{7000} = 0{,}33, or\ 33\%. \qquad (20)$$

Отримане по формулі (12) значення p_{rc}/p_s = 0,387 також може характеризувати ККД силового струминного елемента по тиску. Однак для більш точного дослідження чинників, що впливають на передачу механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі, особливо враховуючих дію потоку робочого середовища, що скидується в перерізі AB (рис. 3), необхідне моделювання робочого процесу отриманої конфігурації силового струминного елемента, зокрема імітаційне, за допомогою програмного пакету ANSYS Fluent, на основі якого відтворюються перехідні процеси, що відбуваються в робочій камері.

При цьому для розрахованої конфігурації дискретного силового струминного елемента визначалась картина перемикання при подачі на вхід управляючого впливу. В процесі імітаційного моделювання спочатку задавали геометрію струминного елемента, а на її підставі моделювали робочий процес. За характеристиками течій визначали, чи задоволені вимоги до елементу. При необхідності його геометрію коригували і процес моделювання повторювали.

Загальний вигляд силового струминного елемента для висівних систем, розробленого запропонованого на основі аналітичного підходу та імітаційного моделювання, показаний на рис. 5.

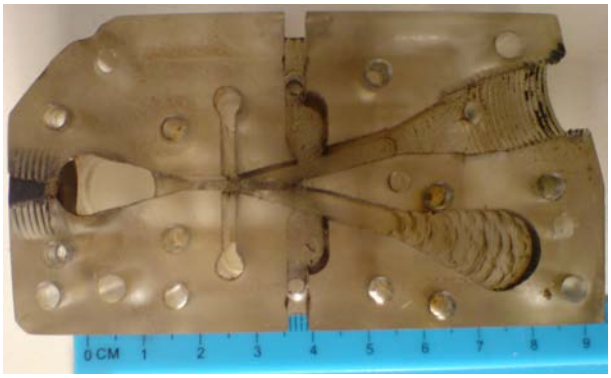

Рис. 5. Загальний вигляд силового струминного елемента (*джерело: розроблено авторами*).

Висновки

1. Теоретичні дослідження передачі механічної енергії плоскими струменями показують, що при описі взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента необхідно враховувати складні вторинні течії у вигляді зворотних потоків, які пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені.

2. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі і, як наслідок, на ефективність роботи струминного елемента.

3. Встановлено, що розрахунковий ККД струминного силового елемента по тиску становить близько 38%. Для уточнення значень отриманих розмірно-енергетичних характеристик необхідне додаткове імітаційне моделювання перехідних процесів, що відбуваються в робочій камері елемента.

Список літератури

1.*Денисов А. А. Нагорный В. С.* Пневматические и гидравлические устройства автоматики. Москва. Высшая школа. 1978. 214 с.

2. *Елимелех И. М., Сидоркин Ю. Г.* Струйная автоматика (пневмоника). Ленинград. Лениздат. 1972. 211 с.

3. *Ильина Т. Е., Продан Н. В.* Проектирование элемента струйной системы управления газостатическим подшипником. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Том 15, №5. Издательство. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург. 2015. С. 921–929.

4. *Лебедев И. В., Трескунов С. Л., Яковенко В. С.* Элементы струйной автоматики. Москва. Машиностроение. 1973. 360 с.

5. *Мурзинов В. Л.* Методы пневмоники в управлении струйными потоками в системах транспортирования на воздушной подушке. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 74 (10). С.25–34.

6. *Панков А. А., Аулин В. В., Черновол М. И.* Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: монография. Кировоград. издатель Лысенко В. Ф. 2016. 242 с.

7. *Попов Ю., Пухначев Ю.* Пневмоника. Наука и жизнь. 1965. №1. С. 10–18.

8. *Сёмин Д. А., Роговой А. С.* Влияние типа и размера расчетных сеток на точность расчета течений в вихрекамерных нагнетателях. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Випуск: гідравлічні машини та гідроагрегати. Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser.: Hydraulic machines and hydrounits. Харків. 2016. № 41 (1213). С. 70–77.

9. *Черновол М. И., Аулин В. В., Панков А. А.* Моделирование силовых пневмоструйных элементов высевающих аппаратов. Вісник інженерної академії України. 2015. № 4. С. 175–179.

References

1. *Denisov, A. A. Nagorny, V. S.* (1978). Pneumatic and hydraulic automation devices. Moscow. High school. 214.

2. *Elimelech, I. M., Sidorkin, J. G.* (1972). Inkjet automation (pneumonia). Leningrad. Lenizdat. 211.

3. *Ilina, I.E., Prodan, N. V.* (2015). Design of the jet element of the control system of gas-static bearing. Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. Volume 15. No 5. Publisher. Saint-Petersburg National Research University of information technologies, mechanics and optics. Saint-Petersburg. 921-929.

4. *Lebedev, V. I., Treskunov, S. L., Yakovenko, V. S.* (1973). Elements of the jet automatics. Moscow. Engineering. 360.

5. *Murzinov, V. L.* (2011). Methods of fluidics in control of jet flows in the transportation systems of the hovercraft. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian University. № 74 (10). 25-34.

6. *Pankov, A. O., Aulin, V. V., Chernovol. M. I.* (2016). Technical means of the process of seeding based on the elements of fluidics. Kirovograd. publisher Lysenko, V., 242.

7. *Popov, Yu., Pukhnachev, Yu.* (1965). Pneumonia. Science and life. No 1. 10-18.

8. *Syomin, D. A., Rogovoy, A. S.* (2016). Effect of type and size of the computational mesh on the accuracy of calculation of currents in the swirl-chamber blowers. Bulletin of National technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser.: Hydraulic machines and hydrounits. Kharkiv. № 41 (1213). 70–77.

9. *Chernovol. M. I., Aulin, V. V., Pankov, A. O.* (2015). Simulation of power pneumotropic elements of the sowing units. Bulletin of Engineering Academy of Ukraine. No 4. 175-179.

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИСІВНИХ СИСТЕМ

В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков

Аннотация. Применение пневмоструйных элементов в высевающих системах позволяет повысить эффективность работы посевных машин. Однако использование силовых струйных элементов в посевной технике затрудняется недостаточной изученностью их рабочих процессов. В работе рассмотрены применяемые экспериментальные методы исследований и предложен аналитический подход в разработке силовых струйных элементов, на основании которого определены их размерно-энергетические характеристики и режимы работы.

Ключевые слова: струйный элемент, высевающая система, пневмоника, автоматизация, моделирование, посев, поток, процесс.

ANALYTICAL DETERMINATION OF POWER CHARACTERISTICS OF INK-JET ELEMENTS OF AUTOMATED METERING SYSTEMS

Aulin V. V., Chernovol M. I., Pankov A. O.

Abstract. The use of pneumatic jet elements in sowing systems can improve the efficiency of sowing machines. However, the use of power jet elements in sowing technology is hampered by insufficient knowledge of their working processes. The paper considers the experimental research methods used and proposes an analytical approach to the development of power jet elements, on the basis of which their size and energy characteristics and modes of operation are determined.

Key words: jet element, seeding system, fluidics, automation, modeling, seeding, thread, process.