

УДК 621.86

**Я.І. Проць, проф., канд. техн. наук, П.С. Федорів, асист., Ю.О. Цяпута, асп.**  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## Дослідження струменевих пристроїв з множиною круглих отворів для відділення листових заготовок

Проведено теоретичні дослідження процесу відділення листового матеріалу за допомогою струменевих пристроїв з множиною круглих отворів. Досліджено зв'язки між геометричними і аеродинамічними параметрами соплового пристрою і листа металу, що знаходився під ним. Визначено основні конструктивні і технологічні параметри, які визначають оптимальні режими роботи струменевих пристроїв для відділення листових заготовок.

**струменевий пристрій, сопло, аеродинамічний ефект, розхід повітря, листова заготовка, присмоктувальна сила, відділення листів**

Відоме застосування соплових пристроїв з великою кількістю круглих отворів для обдування великих поверхонь і підтримки в підвішеному стані різного роду плоских тіл, зокрема листів металу, скла, шиферної плити, картону й інших матеріалів подібної форми. Завдяки великій швидкості витікання струменів повітря виникає аеродинамічний ефект притягання, що полягає у взаємодії витікаючого із екранованого сопла струменя стиснутого повітря із плоскою поверхнею заготовки. [1].

У результаті подачі до сопла 2 (рис. 1) стиснутого повітря постійного тиску сформований отвором-соплом радіусом  $r_c$  і спрямований перпендикулярно площині поршня струмінь повітря протікає в щілину  $h$  між торцями струменевого елемента і заготовки 3 зі швидкістю  $V_0$  приблизно рівною місцевій швидкості звуку  $V_{кр}$ . Переломлюючись об поверхню листа повітря в щілині перетворюється в плоский радіальний потік. Швидкість плинину потоку  $V_1$  на деякому радіусі  $r$  дещо менша швидкості витікання  $V_1 < V_0$ , а в міру наближення до периферії силового елемента поступово зменшується до швидкості  $V_1 > V_2$ , а надалі на радіусі  $r_2$  відбувається повне розчинення в атмосфері. Енергія рухомого суцільного кільцевого газового потоку, обумовлена повним напором, що складається із суми п'єзометричного і динамічного напорів, викликає на торці струменевого елемента зниження тиску до величини нижче атмосферного, тобто

$$P_a \geq \Delta P + \frac{\rho V_1^2}{2}, \quad (1)$$

що сприяє при визначених конструктивних параметрах струменевих елементах появі аеродинамічного ефекту притягання.

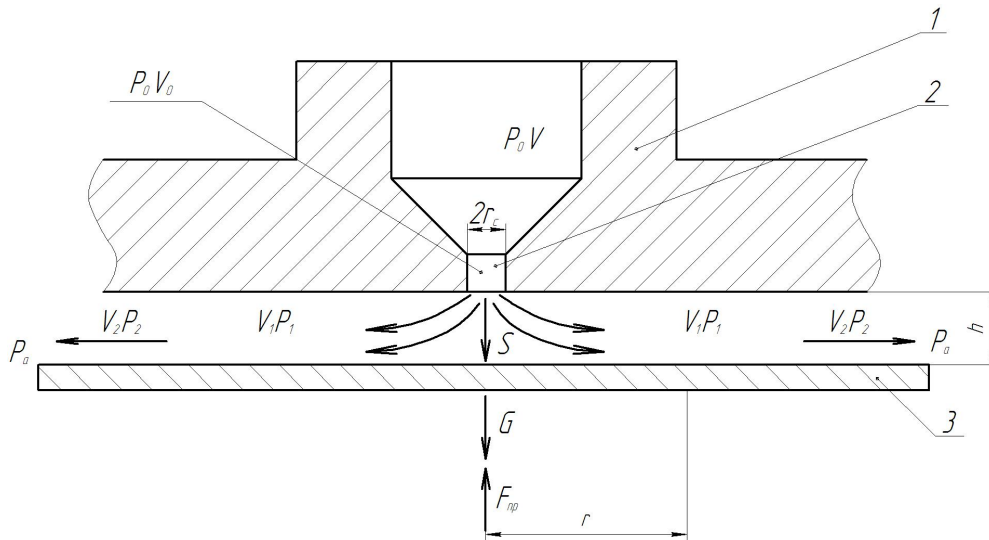
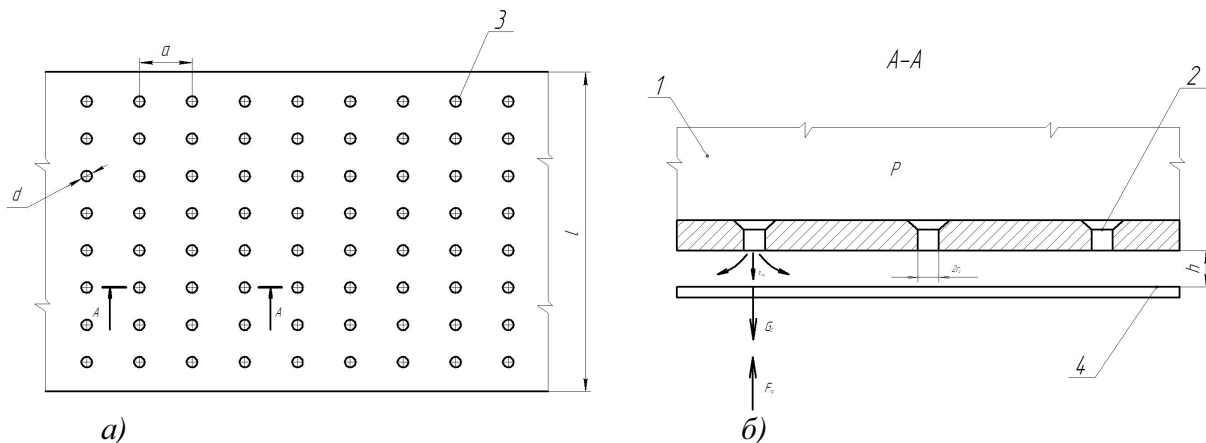


Рисунок 1 – Схема струменевого силового елемента

Під його дією лист силою присмоктування з визначеної відстані піднімається нагору і притискається до торця соплового елемента. Лист не знаходиться в безпосередньому дотику з торцем силового механізму, а вільно плаває на повітряній подушці автоматично підтримуючи зазор  $h$  товщиною порядку 0,08...0,12 мм. Величина результуючої силової дії витікаючого струменя повітря на обтічну поверхню залежить від відстані  $h$  між торцями сопла і листа матеріалу. Деякі закономірності таких соплових пристроїв знайшли своє відображення в літературі. Однак невизначеність в зв'язках між геометричними і аеродинамічними характеристиками цих пристроїв не дозволяють достатньо надійно визначити потрібний тиск і розхід повітря для підтримання листа заданої маси на певній висоті в стані вільного підвішення.

Ці обставини викликають потребу провести описані нижче дослідження соплових пристроїв з круглими отворами і визначити залежності присмоктувальної сили, потрібного тиску повітря від геометричних параметрів соплових пристроїв і відстані  $h$  між торцями струменевого пристрою і заготовки матеріалу.

Система для подачі струменів повітря на листову заготовку складається з ресивера, закріпленого на ньому соплового пристрою з розподіленими за певним законом круглими отворами і розміщеного під цим пристроєм листа матеріалу (Рис. 2).



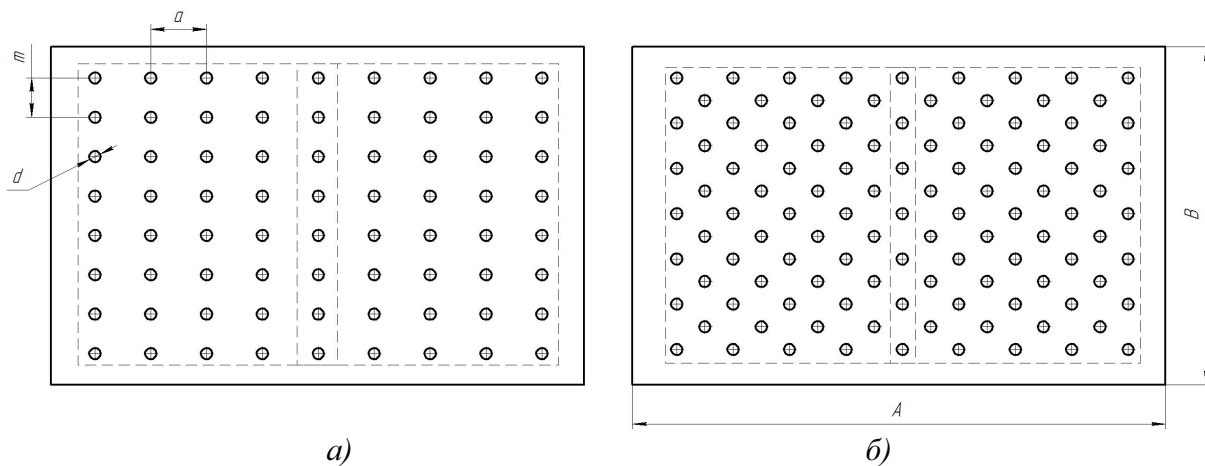
1 – ресивер; 2 – сопловий пристрій; 3 – круглий отвір; 4 – лист матеріалу

Рисунок 2 – Переносна система з множиною круглих отворів

Такі соплові пристрої виконують, наприклад, в вигляді панелі з листового металу і внутрішніми ребрами жорсткості, що забезпечують при надлишковому тиску в ресивері системи підтримку плоскості зовнішньої поверхні панелі.

Ресивер вирівнює повітря, що підводиться до системи, і подає до отворів, з яких виходять круглі струмені стиснутого повітря. Струмені розтікаються в поздовжньому напрямку і, створюючи завихрення, розходяться по спіральним траєкторіям в поперечному напрямку. Опрацьований газ відводиться від листа в бокові сторони через канавки, утворені кромками листа і панелі. В робочому просторі між сопловим пристроєм і листом матеріалу виникає збільшений статичний тиск – газова подушка. Цей тиск викликаний динамічною дією струменів, що витікають з сопел, і реактивною дією потоків газу, що виходять в поперечному напрямку.

Досліджено два соплових пристрої з круглими отворами [2], що мають однакову прохідну площу і відрізняються способом розміщення отворів (рис. 3). Кожний пристрій представляє собою лист з алюмінієвого сплаву товщиною 3 мм і розміром  $A \times B$ . На робочій частині струменевого пристрою (показаній штриховою лінією), просвердлені отвори, рекомендований діаметри яких  $d=0,8-1$  мм (для стінки корпуса товщиною 3 мм).



а) – з матричним розміщенням отворів; б) – з шахматним розміщенням отворів.

Рисунок 3 – Дослідження соплових пристроїв

Виділимо в кожному сопловому пристрої модуль, що повторює картину руху повітря по довжині цього пристрою. В якості модуля може бути розглянута ділянка потоку між двома перетинами, перпендикулярними до поздовжньої осі соплового пристрою і розміщеними один відносно другого на відстані кроку отворів в поздовжньому ряді. В модулі соплового пристрою з шахматним розміщенням отворів є два поперечних ряди отворів. Оскільки кожен з цих двох сусідніх поперечних рядів має однакову кількість отворів, а в поздовжньому напрямку вони багаторазово повторюються, то для спрощення в якості розрахункового модуля можна взяти ділянку потоку, що включає лише один ряд отворів, а ширину модуля прийняти рівною відстані між сусідніми поперечними рядами. Границі розрахункових модулів показані на рис. 3 штрихпунктирними лініями.

При розгляді зв'язків між аеродинамічними характеристиками і геометрією соплових пристроїв з круглими отворами доцільно множину отворів модуля замінити одним еквівалентним по площі щілиноподібним отвором і в якості одного з основних геометричних параметрів прийняти еквівалентну по площі ширину  $b$  щілиноподібного отвору.

Вважаючи

$$F = bl \frac{\pi d^2}{4} n, \quad (2)$$

виходить

$$b = \frac{\pi d^2}{4 l} n, \quad (3)$$

де  $F$  – площа отворів модуля;

$d$  – діаметр отворів;

$n$  – кількість отворів в модулі;

$l$  – довжина щілиноподібного отвору, рівна довжині модуля.

Зв'язки між геометричними і аеродинамічними параметрами соплового пристрою і листа металу, що знаходився під ним, можна представити наступним чином.

Сила, що діє на заготовку складається з присмоктувальної сили  $F_{np}$ , ваги  $G_0$  листа і реактивної сили  $R$ , спричиненої дією струменя повітря на об'єкт.

$$F = F_{np} - G_0 - R. \quad (4)$$

Умова присмоктування має наступний вигляд:

$$F_{np} \geq G_0 + R; \quad (5)$$

$$R = \frac{Q_m^2}{\pi r_c \rho}; \quad (6)$$

$$Q = 2\pi \int_h^0 V dh; \quad (7)$$

$$Q_m = \pi V_0 h_{\max} r_c, \quad (8)$$

де  $Q_m$  – масовий розхід повітря в зазорі,  $r_c$  – радіус соплового елемента,

$$F_{np} = G_0 = c_y S_0 H \quad (9)$$

Звідси коефіцієнт присмоктувальної сили

$$c_y = \frac{G_0/S_0}{H} = \frac{mg}{S_0 H}, \quad (10)$$

де  $m$  – маса листа;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$S_0$  – робоча площа соплового пристрою;

$H$  – тиск потоку повітря, що підводилося до соплового пристрою.

Розхід повітря в системі

$$Q_0 = a F_0 \sqrt{2/\rho} \sqrt{H} \quad (11)$$

і відповідно коефіцієнт розходу в системі

$$a = \frac{Q_0}{F_0 \sqrt{2/\rho} \sqrt{H}}. \quad (12)$$

Тут  $Q_0$  – розхід повітря в системі;  $F_0$  – загальна площа круглих отворів в сопловому пристрої;  $\rho$  – густина повітря, що подавалось до струменевого пристрою.

Загальна площа круглих отворів в сопловому пристрої

$$F_0 = \frac{\pi d^2}{4} n z, \quad (13)$$

де  $d$  – діаметр отворів.

Замінивши в формулі (11) тиск  $H$  його значенням з формули (9), отримаємо

$$Q_0 = \frac{a}{\sqrt{c_y}} F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\frac{G_0}{S_0}}. \quad (14)$$

Цю залежність можна представити у вигляді

$$\bar{Q} = \frac{Q_0}{F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\frac{G_0}{S_0}}} = \frac{a}{\sqrt{c_y}} = a \sqrt{\frac{H}{G_0/S_0}}. \quad (15)$$

Формула (15) виражає в безмірному вигляді потрібний розхід повітря.

Отже, проаналізувавши вище сказане, можна зробити висновок що якщо при тому ж тиску встановити лист великої маси, то висота  $h$  зменшиться, а для досягнення потрібної висоти необхідно збільшити як тиск  $P$ , так і відповідно розхід повітря  $Q_0$ . Проте, за аналітичними й експериментальними дослідженнями [3] струменеві присоси, у порівнянні з вакуумними, мають ряд переваг: високу точність базування заготовок, кращі динамічні характеристики, відсутність рухомих елементів і додаткових механізмів цільового призначення для транспортування заготовки та ін. Завдяки цьому вони можуть бути використані при автоматизації технологічних процесів у машинобудівній, приладобудівній, легкій, поліграфічній та інших промисловостях.

## Список літератури

1. Бляхеров И.С. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник /И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, и др.; Под общ. ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Ханжонков В.И. Аэродинамические характеристики натекания множества круглых струй на экран / Ханжонков В.И. – М.: Машиностроение, 1991. – С. 76-85.
3. Козловский М.А. Присасывающее действие струи, обтекающей пластинку.-Приборостроение.- Киев.: Техніка, вып.2, 1966. –С. 197-199.
4. Битюков В.К. Аэродинамические конвейеры. – Механизация и автоматизация производства, 1981, №10, с. 11.

*Я.И. Проць, П.С. Федорив, Ю.О. Цяпута*

### **Исследование струйных устройств с множеством круглых отверстий для отделения листовых заготовок**

Проведены теоретические исследования процесса отделения листового материала с помощью струйных устройств с множеством круглых отверстий. Исследованы связи между геометрическими и аэродинамическими параметрами соплового устройства и листа металла, находящегося под ним. Определены основные конструктивные и технологические параметры, которые определяют оптимальные режимы работы струйных устройств для отделения листовых заготовок.

*Y. Prots, P. Fedoriv, Y. Tsiaputa*

### **Investigation of air-jet devices with a plurality of round holes to separate the sheet blanks**

Theoretical research of sheet material separation using air-jet devices with a plurality of round holes was done. The links between geometric and aerodynamic parameters of nozzle device and the metal sheet that was under him were investigated. The basic design and technological parameters that determine optimal modes of air-jet devices for sheet blanks separation were defined.

Одержано 20.03.12