

ESTIMATION OF EXPENSE FOR PNEUMATIC NOZZLE OF TECHNOLOGICAL PROCESS

L.A. Krivoplyas-Volodina, G.R. Valiulin, V.M. Lyubimov

National university of food technologies

Key words:	ABSTRACT
nozzle, to the pneumatic highway, stream, pressure, speed, charges	With the purpose of clarification of working process and methodology of calculation of basic parameters and descriptions of stream—reactive пневмоагрегатов (blowing) studies that help to decide tasks are undertaken: analysis of possibilities of the use of nozzle on the systems of blowing in the technological process of food productions, to expect the optimal parameter of the system of blowing and expense/pl descriptions of the compressed air, specify the mathematical model of process by realization of experimental research.
Article history: Received 29.04.2015 Received in revised form 25.06.2015 Accepted 30.06.2015	Analytical research of losses of complete pressure is in running part to the pneumatic highway, is base on memberwise calculation of distribution of pressure in the section of stream of air, distribution of pressure along of axis for wind, distributions of flowrate in the cut nozzle and distribution of flowrate along the geometrical axis for stream. On the base of undertaken studies realization of diagnostics, modifications and improvements of distribution of pressure and values for descriptions of the system of pneumatic nozzle, is possible.
Corresponding author: _lud@mail.ru	

ОЦІНКА ВИТРАТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМОСОПЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Л.О. Кривопляс-Володіна, Г.Р. Валиулін, В.М. Любімов, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

З метою уточнення робочого процесу і методики розрахунку основних параметрів і характеристик струминно-реактивних пневмоагрегатів (пневмосопла обдуву) проведені дослідження, які допомагають вирішити задачі: аналізу можливостей використання пневмосопла на системах обдуву в технологічному процесі харчових виробництв, розрахувати оптимальний параметр системи обдуву і витратні характеристики стисненого повітря, уточнити математичну модель процесу шляхом проведення експериментального дослідження.

На базі проведених досліджень можливе проведення діагностики, модифікації і поліпшення розподілення тиску і значень характеристик системи пневмосопла.

Ключові слова: сопло, пневмомережа, струмінь, тиск, швидкість, витрати.

Вступ. Питання енергозбереження та розумного використання енергетичного потенціалу в технологічному процесі, завжди було актуальним і першочерговим. Одним із визначальних шляхів вирішення цієї проблеми є максимально ефективно використання енергоресурсів. Сьогодні багато відпрацьованої енергії стислого повітря і пари безповоротно втрачається. Іншим, не менш актуальним завданням сучасного харчового виробництва, є завдання створення пневматичного (газового), ефективного, надійного і зручного в експлуатації приводу для безпечного функціонування магістральних пневмосистем і технологічного устаткування.

Мета досліджень. Дослідження проводилися з метою уточнення робочого процесу і методики розрахунку основних параметрів і характеристик струминно-реактивних пневмоагрегатів (пневмосопла обдуву).

Завдання дослідження :

- виконати аналіз можливостей використання пневмосопла на системах обдуву в технологічному процесі харчових виробництв, на ділянках видалення бракованих виробів, розрахувати оптимальний параметр системи обдуву і витратні характеристики стисненого повітря;

- виконати поелементний аналіз втрат в проточній частині магістрального трубопроводу пневмомережі, яка живить сопло, і уточнити математичну модель процесу шляхом проведення експериментального дослідження.

Під час вирішення поставлених завдань, використовувався аналіз і узагальнення відомих літературних джерел [1—3], що дозволило оптимізувати дослідження. Аналітичне дослідження втрат повного тиску в проточній частині пневмомагістралі, ґрунтується на поелементному розрахунку розподілу тиску в перерізі струменя, розподілів тиску уздовж геометричної осі повітряного струменя, розподілу швидкості потоку в перерізі сопла і розподілу швидкості потоку уздовж геометричної осі струменя. Залежно від умов обдуву, таких як діаметр сопла, тиск на вході в сопло і робоча відстань до ділянки обдуву, — побудовані пневматичні схеми керування, для максимально ефективного використання енергії стисненого повітря.

Детально відслідковуючі характеристики обдуву, можливо оцінити умови роботи пневмосистеми в цілому і для технологічної ділянки обробки продуктів зокрема; розробити нові конструкції, використовуючи результати чисельного експерименту — уточнити існуючу модель робочого процесу.

Результати досліджень. Характер кривих (рис.2) отриманих при проведенні досліджень, підтверджує теоретичні залежності витікання газу через сопла і насадки. Масова витрата газу в процесі витікання через коротку насадку з порожнини необмеженого об'єму описується рівнянням Сен-Венана і Ванцеля [2]. При ізоентропійному витіканні, для докритичного режиму — справедливе рівняння (1), для надкритичного — залежність

$$G_s = f p_0 \sqrt{\frac{2k}{RT_0(k-1)} \left[\left(\frac{p_{o.c.}}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{o.c.}}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad \frac{p_{o.c.}}{p_0} \geq \beta_{кр}; \quad (1)$$

$$G_s = f p_0 \sqrt{\frac{k}{RT_0} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad \frac{p_{o.c.}}{p_0} \leq \beta_{кр}; \quad (2)$$

де G_s — масові витрати стисненого повітря (кг/с); f — площа прохідного перерізу сопла (м²); R — питома газова константа, Дж/(кг·К); T_0 — абсолютна статична, повна температура (К); k — показник адіабати.

Чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії і матерії, наочно підтвердив картину течії в пневмомережі з використанням сопла, і дозволив отримати робочі характеристики для технологічного устаткування. На рис.1 показано вільний струмінь, що утворюється при виході стисненого повітря з одноканального сопла в атмосферу (при проведенні досліджень використовувалося сопло Meech Air Technology, діаметром 4мм и 14 мм). Починаючи від зрізу сопла, і далі — на відстань в 5 діаметрів сопла, формується потенційна серцевина, де зберігаються швидкість потоку, кінетичний тиск і кінетична енергія, створені на зрізі сопла. Поза цією серцевиною лежить зона прискорення, яка взаємодіє з атмосферою. Вершина потенційної серцевини перетікає в зону розвитку (схожа зона), яка залучає до процесу навколишню атмосферу, а поперечний переріз струменя зростає, оскільки струмінь розширюється приблизно під кутом 14°.

Витрата в процесі виходу стисненого повітря в атмосферу розраховувалась за нормальних умов оточуючого середовища (атм. тиск 1,013 бар, температура повітря 20 °С) за наступними залежностями (3, 4) по обчисленню об'ємних витратних характеристик повітря.

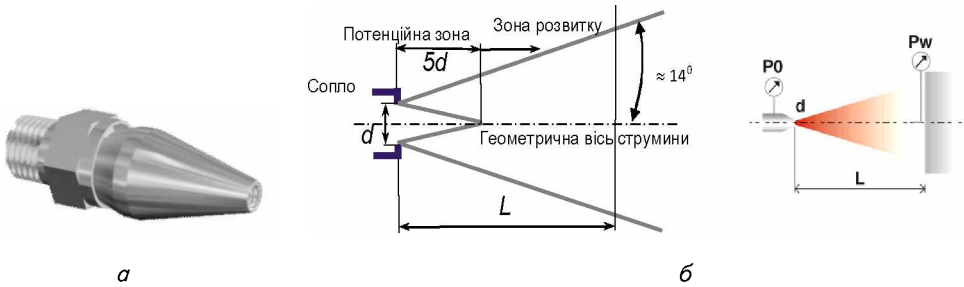


Рис. 1. Система одноканального сопла:
 а — загальний вид сопла Meech Air Technology;
 б — схема розподілення зони тиску на виході сопла

При $P_0 \geq 0,1$ потік повітря дросельований.

$$Q = 600C (P_0 + 0,1) \sqrt{\frac{293}{273 + t}} = 600 \frac{\pi}{20} 0,9d^2 (P_0 + 0,1) \sqrt{\frac{293}{273 + t}}; \quad (3)$$

При $P_0 < 0,1$ потік (дозвуковий) перебуває в докритичній зоні.

$$Q = 600C (P_0 + 0,1) \sqrt{1 - \left(\frac{0,1}{P_0 + 0,1} - 0,5 \right)^2} \sqrt{\frac{293}{273 + t}}; \quad (4)$$

де, Q — об'ємні витрати [м³/хв], C — звукова провідність [м³/(с·бар)], D — діаметр сопла [м²], P_0 — тиск на вході в сопло [МПа], t — температура [°C]. Звукова провідність сопла — це значення, що розраховується із врахуванням $C = S/5$ і використанням ефективною площі S , яка отримана добутком витратного коефіцієнта 0.9 на дійсне значення.

Розподіл тиску у вільному струмені по поперечному перерізу показано на рис.2. По горизонтальній осі відкладено тиск струменя (у відносних одиницях P/P_0 , де P_0 — тиск на вході в сопло). По вертикальній осі відкладена відстань у напрямі поширення струменя від сопла (у відносних одиницях L/d , де L — істинна відстань, d — діаметр сопла).

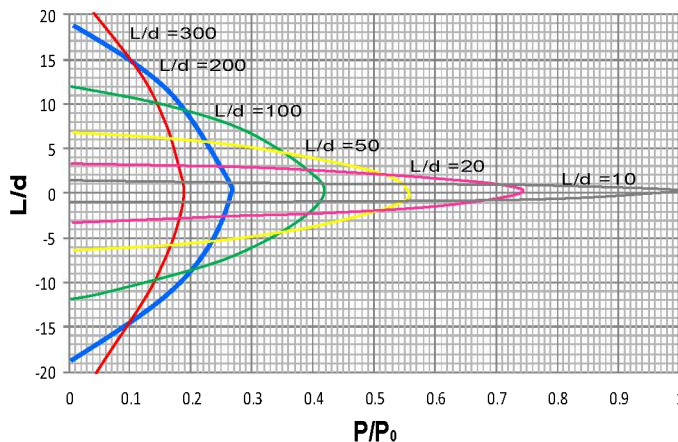


Рис. 2. Розподілення тиску в отворі пневмосопла

Швидкість потоку стисненого повітря, на виході з сопла, u_0 — з врахуванням критичного співвідношення тисків $b=0.5$, розраховується таким чином:

$$u_0 = 331 \sqrt{\frac{293}{273 + t}}; \quad (5)$$

При $P_0 < 0.1$ потік (дозвуковий) докритична зона:

$$u_0 = 740 \sqrt{1 - \left(\frac{0.1}{P_0 + 0.1} \right)^{0.286}} \sqrt{\frac{293}{273 + t}}; \quad (6)$$

Швидкість вільного струменя в зоні розвитку розраховується таким чином:

$$u = u_0 \sqrt{\frac{P}{P_0}};$$

де u_0 — швидкість потоку на виході з сопла [м/с], u — швидкість в зоні розвитку [м/с], P_0 — тиск на вході в сопло [МПа], P — тиск струмни [МПа], t — температура [°C]. Використовуючи задані конструктивні параметри сопла і видалення об'єкту обдування, на рис. 3 представлено основні кінематичні параметри сформованого повітряного струменя, за умови: 1) використання сопла ($P_0 = 0.4$ МПа, $P_0 = 0.5$ МПа $d = 4$ мм, $d = 14$ мм $L = 200$ мм); 2) відкритий переріз трубопроводу без звуження на виході.

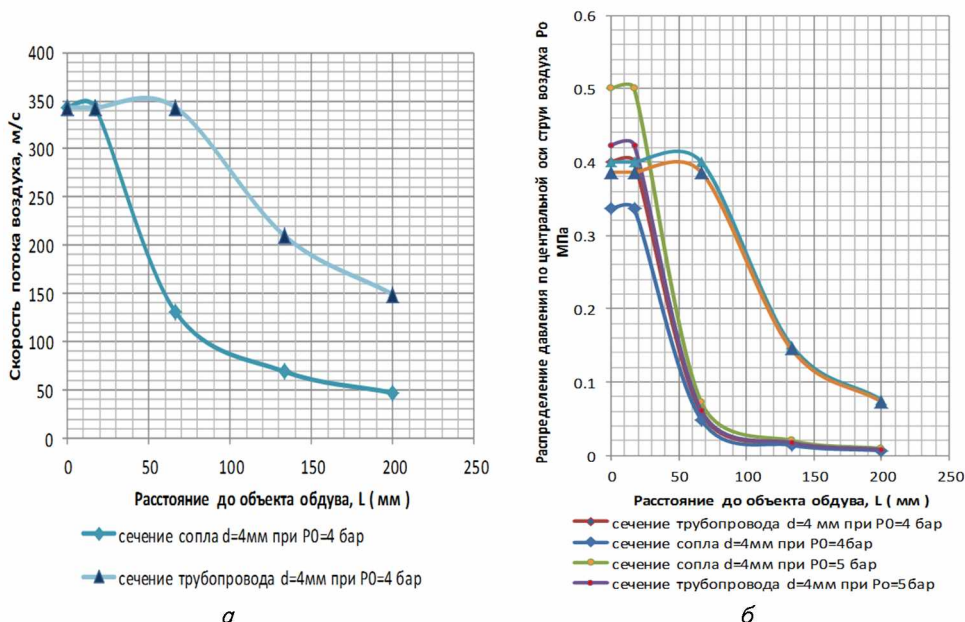


Рис. 3. Характеристики потоку повітря на виході з перерізу сопла і перерізу трубопроводу:

а — розподіл швидкості в потоці по центральній осі повітряного струменя;
б — розподіл тиску повітря по центральній осі повітряного струменя

Вибір і розрахунок характеристик компонентів і труб між регулятором і соплом для розгалужених схем пневмокерування, вимагає введення значення довжини труб, діаметру сопла і тиску на вході в сопло, а також коефіцієнт опору потоку або падіння тиску після побудови схеми керування потоком в пневмомережі.

Висновок. Після побудови схеми керування можна розрахувати вхідну звукову провідність і критичне відношення тисків для кожної ділянки пневмосистеми, згідно з технічною характеристикою моделі пневмокомпонента (сопла). На базі проведених досліджень можливе проведення діагностики, модифікації і поліпшення розподілення тиску і значень характеристик системи пневмосопла. Після визначення дійсної витрати повітря через робоче сопло, необхідно знайти значення коефіцієнта витрати повітря (ступінь провідності).

Якщо відношення тисків дорівнює 0,8, ступінь провідності дорівнює 1, при 0,9 дорівнює 1,5, а при 0,95 досягає 2,2. Це означає, що коли провідність трубопроводу в 1,5 рази більше провідності сопла, відношення падіння тиску складатиме 10 %, а якщо в 2 рази — то 5 %.

Тому необхідно обирати трубопроводи такого розміру, щоб їх провідність була в 2 рази більше провідності сопла. Розмір компонентів на трубопроводі обирається відповідно до розрахункової пневматичної схеми і умов обдуву на об'єкті обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *A Guide to Improving the Performance of Your Drying and Blow-off Applications with WindJet.* // Catalog.— U.S.A.: Air Products Publishing, — 2014. — 20 p.
2. *Донской А.С.* Математическое моделирование процессов в пневматических приводах / А.С. Донской. — СПб., Издание политехнического университета, 2009. — 121 с.
3. *Донской А.С.* Обобщенные математические модели элементов пневмосистем / А.С. Донской. — СПб.: СПГУТД, 2001. — 215 с.

ОЦЕНКА РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМОСОПЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Л.А. Кривопляс-Володина, Г.Р. Валиулин, В.М. Любимов
Национальный университет пищевых технологий

С целью уточнения рабочего процесса и методики расчета основных параметров и характеристик струйно-реактивных пневмоагрегатов (пневмосопла обдува) проведены исследования, которые помогают решить задачи, анализа возможностей использования пневмосопла на системах обдува в технологическом процессе пищевых производств, рассчитать оптимальный параметр системы обдува и расходные характеристики сжатого воздуха, уточнить математическую модель процесса путем проведения экспериментального исследования.

На базе проведенных исследований возможно проведение диагностики, модификации и улучшения распределения давления и значений характеристик системы пневмосопла.

Ключевые слова: сопло, пневмосистема, струя, давление, скорость, расходы.