

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ ПРИ РУСІ КОРМОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ У ПНЕВМОКОРМОРОЗДАВАЧІ З ДОЗУВАННЯМ У ТРУБІ**

Дем'яненко В.Я., ст.викл.,

Болтянський Б.В., к.т.н.,

Чаплинський А.П., асистент

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.(0619) 42-24-36, 42-05-70

**Анотація** – у статті розглянуто питання теоретичного визначення коефіцієнта опору  $K$  при русі кормоповітряної суміші у пневмороздавачі з дозуванням у трубі.

**Ключові слова** – коефіцієнт опору, кормоповітряна суміш, сила тиску, дотичні напруження, градієнт швидкості, поверхня тертя.

*Постановка проблеми.* Загально відомо, що роздавання кормів є однією з найбільш трудомістких операцій на фермах ВРХ (40%). Існуючі системи роздачі кормів не відповідають вимогам ні по технології ні по зоотехнічним нормам. Застосування пневмотранспортних систем в даному випадку є найбільш доцільним. Але їх використання знаходиться ще на недостатньому рівні, а питання транспортування подрібнених стеблових кормів у пневмопроводі кормороздавача потребують додаткових досліджень.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз публікацій з даної проблеми показує, що питання руху кормоповітряної суміші у пневмопроводі кормороздавача ще недостатньо досліджені і потребують теоретичного обґрунтування. Однією з важливих проблем, якій приділялось недостатньо уваги є визначення коефіцієнта опору основного розрахункового параметру, що враховує витрати енергії потоку на переміщення транспортуючого матеріалу.

*Формулювання цілей статті.* Метою даної статті є теоретичне визначення коефіцієнта опору при русі кормоповітряної суміші у пневмокормороздавачі з дозуванням у трубі.

*Основна частина.* Коефіцієнт опору  $K$  – основний розрахунковий параметр, який враховує витрати енергії потоку на переміщення матеріалу. Значення цього коефіцієнта залежить від якостей транспортуемого матеріалу і його визначення складає предмет цих досліджень.

В даному випадку стосовно до пневмотранспортування подрібнених стеблових кормів була використана теорія Л.О. Горцокаляна [1]. При

здійсненні руху суміші в горизонтальному трубопроводі пневмокормороздавача на довжині  $l_{\text{тр}}$  (рис. 1) втрати тиску визначаються різницею тиску в перерізах I-I і II-II [2]

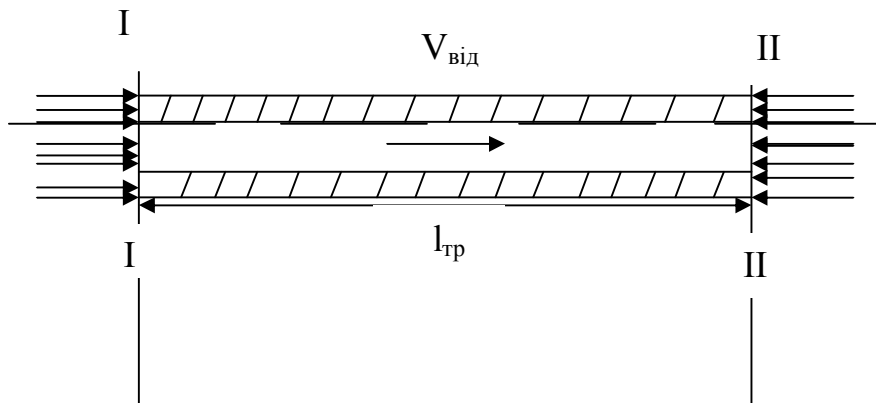


Рис. 1. До визначення коефіцієнту опору  $K$ .

$$H = H_1 - H_2 = H_n (1 + k\mu) = H_n + H_n + H_n \cdot k\mu, \quad (1)$$

де  $H_n$  – втрати тиску по всій довжині трубопроводу пневмокормороздавача;

$k$  – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску від наявності транспортуючого матеріалу в повітряному потоці;

$\mu$  – коефіцієнт концентрації кормосуміші.

$$H_n = \lambda \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{\rho_n \cdot V_{\text{пов}}^2}{2}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт повітряних втрат;

$d_{\text{тр}}$  – діаметр трубопроводу пневмокормороздавача;

$\rho_n$  – щільність повітря у пневмокормороздавачі;

$V_n$  – швидкість повітря у пневмокормороздавачі.

Без урахування втрат на тертя повітря об стінки трубопроводу, сила тиску повітряного потоку, яка дорівнює  $H \cdot A_{\text{тр}}$ , повинна врівноважуватись силами лобового тиску і дотичних напружень, що виникають при обтіканні рухаючих часток корму

$$H_n \cdot k\mu A_{\text{тр}} = F_{\text{л}} + F_{\text{тер}}, \quad (3)$$

де  $A_{\text{тр}}$  – розглядаємий переріз трубопроводу;

$F_{\text{л}}$  – сила лобового тиску;

$F_{\text{тер}}$  – сила тертя при русі часток корму в повітряному потоці.

Сила лобового тиску дорівнює

$$F_{\text{л}} = C \cdot A_s \frac{V_{\text{від}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{пов}}, \quad (4)$$

де  $A_s$  – міделевий переріз часток корму;

$c$  – коефіцієнт опору розриву часток корму;

$V_{\text{від}}$  – відносна швидкість повітря

$$V_{\text{від}} = V_{\text{ч}} - V_{\text{п}}, \quad (5)$$

де  $V_{\text{ч}}$  – швидкість переміщення часток корму.

Сили тертя, які виникають при русі часток корму в потоці повітря, пропорційні градієнту швидкості у поверхні цих часток. Припускаючи, що градієнт буде лінійним, отримаємо

$$F_{\text{тер.}} = \eta \cdot S_{\text{ч}} \cdot \frac{V_{\text{від}}}{y_1}, \quad (6)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт пропорційності – динамічний коефіцієнт в'язкості;

$S_{\text{ч}}$  – поверхня тертя часток корму;

$y_1$  – відстань від поверхні часток корму до рухомого шару повітря (товщина граничного шару).

Тоді,

$$H_{\text{п}} \cdot k \cdot \mu \cdot A_{\text{тр}} = C \cdot A_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \frac{V_{\text{від}}^2}{2} + \eta \cdot S_{\text{ч}} \frac{V_{\text{від}}}{y_1}. \quad (7)$$

Звідки,

$$K = C \frac{V_{\text{від}}^2 \cdot A_{\text{с}} \rho_{\text{п}}}{2\mu \cdot H_{\text{п}} \cdot A_{\text{тр}}} + \frac{\eta \cdot V_{\text{від}} \cdot S_{\text{ч}}}{y_1 \cdot \mu \cdot H_{\text{п}} \cdot A_{\text{тр}}}. \quad (8)$$

Положення часток корму у повітряному потоці повинні визначати діючі на них зусилля.

У зв'язку з цим розглянемо два варіанти положення часток корму в повітряному потоці:

- 1) частки розташовані повздовжньою віссю паралельно вісі трубопроводу кормороздавача;
- 2) повздовжня вісь часток корму розташована перпендикулярно вісі трубопроводу.

**Перший варіант.** Частка корму розташована віссю паралельно вісі трубопроводу.

У цьому випадку площа поперечного перерізу частки корму, на яку діють сили лобового тиску повітряного потоку, дорівнює

$$A_{\text{с}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot n_{\text{ч}}. \quad (9)$$

Поверхня тертя дорівнює циліндричній поверхні часток корму

$$S_{\text{пч}} = \pi \cdot d_{\text{ч}} \cdot l_{\text{ч}} \cdot n_{\text{ч}}, \quad (10)$$

де  $n_{\text{ч}}$  – кількість часток корму в даному об'ємі повітря;

$d_{\text{ч}}$  – діаметр часток.

Значення  $n_{\text{ч}}$  визначається через коефіцієнт масової концентрації суміші  $\mu$ . Об'єм повітря у трубі діаметром  $d_{\text{тр}}$  і довжиною  $l_{\text{тр}}$  дорівнює

$$V = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} \cdot l_{\text{тр}}. \quad (11)$$

Маса цього об'єму повітря дорівнює

$$m_{\text{пов}} = V \cdot \rho_{\text{к}} = \frac{\pi d_{\text{тр}}^2}{4} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{к}}, \quad (12)$$

де  $\rho_{\text{к}}$  – об'ємна маса частки корму.

Загальна маса часток корму, які знаходяться в даному об'ємі повітря при даній концентрації кормоповітряної суміші

$$m_{\text{к}} = \mu \cdot m_{\text{пов}} = \mu \frac{\pi d_{\text{тр}}^2}{4} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}. \quad (13)$$

Маса однієї частки дорівнює

$$m_{\text{ч}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}. \quad (14)$$

Кількість часток корму в даному об'ємі

$$n_{\text{ч}} = \frac{m_{\text{к}}}{m_{\text{ч}}} = \frac{\mu \frac{\pi d_{\text{тр}}^2}{4} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{\frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}} = \frac{\mu \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{d_{\text{ч}}^2 \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}}. \quad (15)$$

Підставляючи значення  $n_{\text{ч}}$  у формули (9) і (10), отримаємо

$$A_{\text{с}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2 \cdot \mu \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{4 \cdot d_{\text{ч}}^2 \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\mu \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}}; \quad (16)$$

$$S_{\text{п.ч}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ч}} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \mu \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{d_{\text{ч}}^2 \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}} = \frac{\pi \cdot \mu \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}}. \quad (17)$$

Підставляючи значення  $A_{\text{с}}$ ,  $S_{\text{п.ч}}$  і  $A_{\text{тр}}$  у рівняння (8), отримаємо

$$K = C \frac{V_{\text{від}}^2 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{2H_{\text{п}} \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}} + \eta \frac{4V_{\text{від}} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{y_1 \cdot H_{\text{п}} \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}}. \quad (18)$$

Втрати тиску повітря визначаються залежністю

$$H_{\text{п}} = \lambda \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{V_{\text{пов}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{п}}. \quad (19)$$

Підставляючи значення  $H_{\text{п}}$  у формулу (18), отримаємо

$$K = C \frac{d_{\text{тр}}}{\lambda \cdot l_{\text{ч}}} \cdot \frac{V_{\text{від}}^2}{V_{\text{пов}}^2} \cdot \frac{\rho_{\text{пов}}}{\rho_{\text{к}}} + \eta \frac{8 \cdot V_{\text{від}} \cdot d_{\text{тр}}}{y_1 \cdot d_{\text{ч}} \cdot \lambda \cdot V_{\text{к}}^2};$$

$$K = \frac{d_{\text{тр}} \cdot V_{\text{від}}}{\lambda \cdot V_{\text{пов}}^2 \cdot \rho_{\text{к}}} \left( C \frac{V_{\text{від}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{l_{\text{ч}}} + \eta \frac{8}{y_1 \cdot d_{\text{ч}}} \right). \quad (20)$$

При невеликих розмірах транспортуємих часток корму і невеликому значенні відносної швидкості  $V_{\text{від}}$ , коефіцієнт опору  $K$  пропорційний

в'язкості середовища і градієнту швидкості. В цьому випадку визначення коефіцієнта опору  $K$  треба проводити тільки з урахуванням сил в'язкості

$$K = 8 \cdot \eta \cdot V_{\text{від}} \frac{d_{\text{тр}} \cdot V_{\text{від}}}{y_1 \cdot d_{\text{ч}} \cdot \lambda \cdot V_{\text{пов}}^2 \cdot \rho_{\text{к}}} \quad (21)$$

При пневматичному транспортуванні частки корму рухаються у турбулентному потоці, де значенням в'язкості можна знехтувати [3]. В цьому випадку тертя не здійснює помітного впливу, тоді значення  $K$  визначиться таким чином

$$K = C \frac{d_{\text{тр}} \cdot V_{\text{від}}^2 \cdot \rho_{\text{пов.}}}{\lambda \cdot l_{\text{ч}} \cdot V_{\text{пов}}^2 \cdot \rho_{\text{к}}} \quad (22)$$

Визначимо значення коефіцієнта  $c$ . При витанні тіла має місце рівняння ваги і аеродинамічної сили, тоді

$$m_{\text{ч}} \cdot g = c \cdot A_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{пов}} \frac{V_s^2}{2}, \quad (23)$$

де  $V_s$  – швидкість витання часток корму

$$C = \frac{2 \cdot m_{\text{ч}} \cdot g}{A_{\text{ч}} \cdot V_s^2 \cdot \rho_{\text{пов}}}, \quad (24)$$

де  $A_{\text{ч}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4}$  - площа перерізу частки корму.

Тоді,

$$C = \frac{2 \cdot m_{\text{ч}} \cdot g}{\frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot V_s^2 \cdot \rho_{\text{пов}}}; \quad (25)$$

$$K = \frac{2 \cdot m_{\text{ч}} \cdot g \cdot d_{\text{тр}}}{\frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot V_s^2 \cdot \lambda \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{пов}}} \left( \frac{V_{\text{від}}}{V_{\text{пов}}} \right)^2 \quad (26)$$

Враховуючи, що  $m_{\text{ч}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot l_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{к}}$ , отримаємо

$$K = \frac{2 \cdot g \cdot d_{\text{тр}}}{\lambda \cdot V_s^2} \left( \frac{V_{\text{від}}}{V_{\text{пов}}} \right)^2 \quad (27)$$

**Другий варіант.** В цьому випадку частки корму розташовані повздовжньою віссю перпендикулярно осі трубопроводу пневмокормороздавача. Площа поперечного перерізу часток корму, на яку будуть діяти сили лобового тиску дорівнює

$$A_s = d_{\text{ч}} \cdot l_{\text{ч}} \cdot n_{\text{ч}} \quad (28)$$

Поверхня тертя дорівнює

$$S_{пч} = 2 \frac{\pi d_{ч}^2}{4} l_{ч} \cdot n_{ч}. \quad (29)$$

Підставивши значення  $n_{ч}$  у формулу (28), отримаємо

$$A_s = d_{ч} \cdot l_{ч} \cdot \mu \frac{d_{тр}^2 \cdot l_{тр} \cdot \rho_{пов.}}{d_{ч}^2 \cdot l_{ч} \cdot \rho_{к}} = \frac{d_{тр}^2 \cdot \mu \cdot l_{тр} \cdot \rho_{пов.}}{d_{ч} \cdot \rho_{к}}. \quad (30)$$

Значення коефіцієнта  $K$  отримаємо згідно виразу

$$K = C \frac{4 \cdot V_{від}^2 \cdot d_{тр} \cdot \rho_{пов.}}{\pi \cdot d_{ч} \cdot \lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot \rho_{к}} + \eta \frac{4 V_{від} \cdot d_{тр}}{y_1 \cdot \lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot l_{ч} \cdot \rho_{к}};$$

$$K = \frac{4 \cdot V_{від} \cdot d_{тр}}{\lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot \rho_{к}} \left( C \frac{V_{від} \cdot \rho_{пов.}}{\pi \cdot d_{ч}} + \eta \frac{1}{y_1 \cdot l_{ч}} \right). \quad (31)$$

При невеликих розмірах часток корму і невеликій відносній швидкості переважають сили в'язкості, тоді

$$K = \eta \frac{4 \cdot V_{від} \cdot d_{тр}}{y_1 \cdot \lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot l_{ч} \cdot \rho_{к}}. \quad (32)$$

Якщо частки корму будуть рухатися в турбулентному потоці, то значення коефіцієнта опору  $K$  буде дорівнювати

$$K = C \frac{4 \cdot V_{від}^2 \cdot d_{тр} \cdot \rho_{пов.}}{\pi \cdot d_{ч} \cdot \lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot \rho_{к}}. \quad (33)$$

Величина коефіцієнта  $C$  дорівнює

$$C = \frac{2 \cdot m_{ч} \cdot g}{A_{ч} \cdot V_s^2 \cdot \rho_{пов.}}$$

Для такого положення часток корму  $A_{ч} = d_{ч} \cdot l_{ч}$ .

Тоді,

$$C = \frac{2 \cdot m_{ч} \cdot g}{d_{ч} \cdot l_{ч} \cdot V_s^2 \cdot \rho_{пов.}}. \quad (34)$$

Після підставлення значення коефіцієнта  $C$ , отримаємо

$$K = \frac{8 \cdot m_{ч} \cdot g \cdot V_{від}^2 \cdot d_{тр}}{\pi \cdot d_{ч}^2 \cdot l_{ч} \cdot \lambda \cdot V_{пов}^2 \cdot \rho_{к} \cdot V_s^2}. \quad (35)$$

Величину  $m_{ч}$  можна представити виразом

$$m_{ч} = \frac{\pi d_{ч}^2}{4} \cdot l_{ч} \cdot \rho_{к}.$$

Тоді, коефіцієнт опору  $K$  визначиться як

$$K = \left( \frac{V_{від}}{V_{пов}} \right)^2 \frac{2 \cdot g \cdot d_{тр}}{V_s^2 \cdot \lambda}. \quad (36)$$

*Висновки.* Таким чином, розрахункове значення коефіцієнта опору  $K$  для різного положення часток корму у повітряному потоці (для стебел,

повздожня вісь яких розташована паралельно і перпендикулярно потоку) дорівнює

$$K = \left( \frac{V_{\text{від}}}{V_{\text{пов}}} \right)^2 \frac{2 \cdot g \cdot d_{\text{тр}}}{\lambda \cdot V_s^2},$$

де  $V_s$  – швидкість витання при розташуванні повздожньої осі часток корму паралельно і перпендикулярно потоку повітря.

Отриманий вираз для коефіцієнта опору  $K$  характеризує рух різноманітних матеріалів. Для сипучих матеріалів, коли завантаження

проходить рівномірно, величина  $\left( \frac{V_{\text{від}}}{V_{\text{пов}}} \right)^2$  і  $V_s^2$  у формулі (36) має постійне

значення. При транспортуванні кормосуміші, коли у трубопровод пневмокормороздавача одночасно з сипучими матеріалами завантажуються стеблові частки корму, які поступають комками і викликають зміну швидкості повітряного потоку, величина відношення

$\left( \frac{V_{\text{від}}}{V_{\text{пов}}} \right)^2$  і швидкість витання  $V_s^2$  теж змінюються. Визначити ці величини

аналітичним шляхом в такому випадку складно, тому їх визначають експериментально.

#### Література

1. Горцакалян Л.О. Исследование процесса транспортирования фрезерного торфа пневматическим способом. /Л.О. Горцакалян// Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Москва, 1961г.
2. Дем'яненко В.Я. Умови транспортування стеблових кормів у пневмопроводі / В.Я. Дем'яненко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь; ТДАТА, 2001. – Вип.1 т.18.
3. Коба В.Г. Теоретическое исследование процесса перемещения кормовых масс по трубам сжатым воздухом / В.Г. Коба, В.В. Потапов// Труды СИМСХ, Саратов, 1970г. Вип.46.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ КОРМОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ПНЕВМОКОРМОРАЗДАТЧИКЕ С ДОЗИРОВАНИЕМ В ТРУБЕ**

Демьяненко В.Я., Болтянский Б.В., Чаплынский А.П.

#### *Аннотация*

**В статье рассмотрен вопрос теоретического определения коэффициента сопротивления  $K$  при движении кормовоздушной смеси в пневмораздатчике с дозированием в трубе.**

**DETERMINATION OF COEFFICIENT OF RESISTANCE AT  
MOTION TO CORMOPOVITRYANOI MIXTURE IN  
PNEVMOCORMOROZDAVACHI WITH DOSAGE IN PIPE**

V. Dem`yanenco, B. Boltyansciy, A. Chaplinskiy

*Summary*

**In the article the considered questions of theoretical determination of coefficient of resistance  $K$  at motion of cormopovitryanoi mixture in pnevmorozdavachi with the dosage in a pipe.**