

пилоочистки до 98,6 %, змінивши при цьому гідравлічний опір і габарити, що підтверджено актами впровадження і випробування.

УДК 631.348

Вікович І.А., Дівеєв Б.М.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедри “Нарисна геометрія та графіка”, “Експлуатація та ремонт автомобільної техніки”

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАНЕСЕННЯ КРАПЛИН РІДИНИ НА РОСЛИНИ ОБПРИСКУВАЧАМИ

© Вікович І.А., Дівеєв Б.М., 2000

Розглянуто математичну модель турбулентного струменя у повітряному потоці, визначено траєкторію струменя в ламінарному потоці, що зноситься, враховано контакт струменя з оброблюваною поверхнею під час його поширення. Розповсюдження крапельно-повітряного потоку суміші із розпилювача розглянутий на основі інтегральних співвідношень балансу речовини та кількості руху.

**This article covers problem of mathematical model of turbulent current in air torrent, it determines laminated torrent, takes in to account a contact of the current with the processed our face. The process of the distribution of the drop-aired torrent from a pulverizer is based upon the integral correlation of a balance of substance and quantity of motion.**

Для дослідження розповсюдження і осідання краплин препарату під час обприскування за допомогою штангових чи вентиляторних обприскувачів розглядають випадки, пов'язані з переміщенням краплин сумісно з повітряним струменем; і дифузне розпилення краплин поза струменем.

Найкраще досліджений другий випадок, який належить до широкого класу задач турбулентної дифузії домішок у триповерхневому прошарку атмосфери. З нею пов'язані численні дослідження як суто теоретичного плану [1], так і емпіричні наближення [2]. Під час переміщення агрегату з постійною швидкістю при вірогідних підтвердженнях як теоретично, так і експериментально цей випадок зводиться до задачі дифузії від лінійного джерела. Для такого класу задач відомі деякі точні аналітичні розв'язки [1,3], що отримуються при конкретних апроксимаціях стану атмосфери та граничних умовах. Набагато складнішим є перший випадок. Для нього проводяться численні теоретичні і експериментальні дослідження. Ця задача пов'язана з класом технічних проблем, зокрема із вприскуванням пального в камери згорання, із затопленими потоками димових труб та з іншими засобами. Під час руху агрегату та дії вітру відбуваються складні процеси взаємодії повітряних потоків, що впливають на характер турбулентної дифузії домішки у самому струмені. Треба відзначити, що характер дифузії домішки в турбулентному струмені, навіть за відсутності поперечних зовнішніх потоків, надзвичайно складний. Експериментальні

дослідження цього процесу знайшли деяке теоретичне обґрунтування лише останнім часом. Адже в експериментах спостерігалися аномальні явища шнуровання дрібнішої домішки та розсіяння більшої. У роботі розглянута лише спрощена математична модель турбулентного струменя у поперечному потоці з використанням інтегральних співвідношень. Модель є комбінована фізично-емітаційного типу. Розповсюдження струменя розглянуте на підставі співвідношень балансу речовини та кількості руху, а захоплення краплин рослинністю змодельоване на підставі спрощених імітаційних співвідношень.

Питання про границі струменя при проникненні у потік рідини чи газу не мають однозначної відповіді [2]. Користуючись певною схематизацією дійсної течії запишемо для деякого об'єму  $\tau$  рівняння балансу речовини (крапельно-повітряного потоку суміші)

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho\tau) = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} \rho d\tau + \iint_{\sigma} \rho V_n d\sigma = 0, \quad (1)$$

зміни кількості руху

$$\frac{dK}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} \rho V d\tau + \iint_{\sigma} \rho V V_n d\sigma = \iiint_{\tau} \rho F d\tau - \iint_{\sigma} p n d\sigma + \iint_{\sigma} \tau_n d\sigma = 0, \quad (2)$$

та збереження енергії

$$\begin{aligned} \frac{dK}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} \rho \left( U + \frac{V^2}{2} \right) d\tau + \iint_{\sigma} \rho \left( U + \frac{V^2}{2} \right) V_n d\tau = \iiint_{\tau} \rho (FV) d\tau - \\ - \iint_{\sigma} p (nV) d\sigma + \iint_{\sigma} \tau_n V d\sigma + \iint_{\sigma} q_n d\sigma + \iiint_{\tau} \rho \varepsilon d\tau. \end{aligned} \quad (3)$$

Тут  $V$  і  $V_n$  у співвідношенні (2) враховане тертя на поверхні елемента  $\tau$  (член з  $\tau_n$ ), а в співвідношенні (3) виділення тепла (член з  $\varepsilon$ ).

На густину осадження краплин великий вплив мають такі чинники, як далекобійність струменя, розподіл швидкісних потоків по площині поперечного перерізу і по осі струменя, форма і розмір поперечного перерізу струменя, форма траєкторії у вертикальній і в горизонтальній площинах, характер дифузії домішки в об'ємі струменя. Ці параметри своєю чергою залежать від метеорологічних умов, від характеру переміщення розпилювача, від аеродинамічних характеристик краплин.

Під час визначення траєкторії струменя в потоці, що зноситься, необхідно, за деякого співвідношення об'ємів компонентів, враховувати вплив домішки [1]. Однак для сучасних оприскувачів з малою або ультрамалою дозою препаратів, вплив їх на аеродинамічну поведінку струменя незначний і ним можна знехтувати. Тому надалі розглядатимемо поширення однофазного повітряного (газового) струменя в повітряному потоці цієї ж густини, що й спрямований під деяким кутом до траєкторії цього струменя.

Врахована можливість контакту струменя під час його розповсюдження з поверхнею. Отже, процес струменевої течії розбитий на три зони: вільну зону, вихрову зону первісного контакту струменя з поверхнею і зону струменя, який стелиться по екрані. Визначимо кінематичні залежності розташування цих зон залежно від параметрів обприскувача. Для цього у першому наближенні розглянемо "прожекторну" теорію розповсюдження струменя. Вважаємо, що в першій зоні – зоні вільного поширення струменя він має конусну форму [1]

$$r = 2,25r_0 + cX \quad (4)$$

Про справедливість цієї гіпотези форми струменя свідчать як теоретичні [1], так і експериментальні дослідження. Тут, звичайно, не враховано вплив на струмінь бокового вітрового потоку, що призводить до деформації перерізу струменя [2]. Але оскільки розглядаються переважно випадки з  $m < 1$  ( $m = U_p / U_0$ , де  $U_p$  – швидкість повітряного потоку,  $U_0$  – поздовжня швидкість струменя біля сопла), то в першому наближенні можна знехтувати деформацією форми поперечного перерізу струменя. Знехтуємо також викривленням середньої осі струменя внаслідок аеродинамічної взаємодії з поверхнею. У [1] для цього викривлення наведені відносно малі значення, навіть, для плоского струменя, коефіцієнт розрідження між ним та екраном значно вищий і внаслідок того значно вища різниця тисків, що спричиняє викривлення осі.

Крім згаданих геометричних параметрів введемо ще висоту сопла над поверхнею  $H$  та початковий кут нахилу струменя до горизонту  $\alpha$ , рис.1. З рис. 1 можна встановити точку початкового контакту нижньої частини струменя з поверхнею

$$OC = (H - r_0 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \sin \alpha) - r_0 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

та радіус струменя на відстані  $X$  від сопла

$$r = r_0 \left( r_0 \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \sin \alpha - (H - r_0 \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \sin \alpha) \operatorname{tg} \alpha + X \right) / r_0 \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

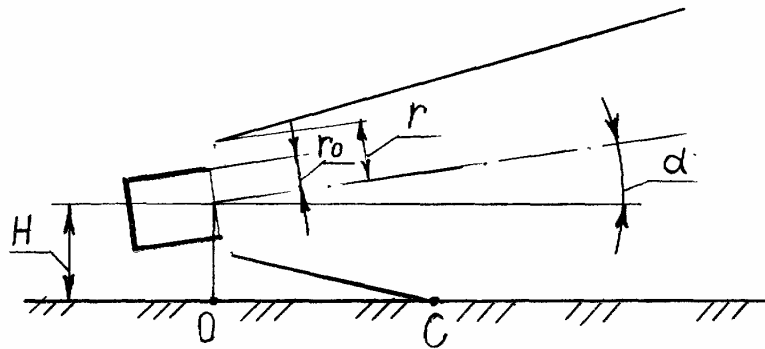


Рис.1. Принципова схема виходу струменя рідини із сопла розпилювача та розповсюдження його по оброблювальній поверхні.

Ширину зони контакту легко можна визначити залежністю

$$b(X) = (r^2 - TQ^2)^{0,5}, \quad (7)$$

де

$$TQ = (X - OC) \sin \alpha + (H - r_0 \operatorname{ctg} \alpha_r \cdot \sin \alpha) \operatorname{ctg} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_r - \alpha).$$

При цих припущеннях контакт струменя з поверхнею відбудеться завжди при  $\alpha_r > \alpha$ . Це на практиці існує, оскільки теоретичне розширення струменя дорівнює

$$c = 0,22, \quad (8)$$

а кути нахилу переважно вибираються менші, ніж  $15^\circ$ .

Визначимо положення траєкторії струменя у вертикальній площині. Це має значення для визначення далекобійності струменя, що впливає на концентрацію осадження краплин. Вважаємо, що агрегат пересувається з деякою фіксованою швидкістю прямолінійно. Положення сопла також вважаємо незмінним у просторі (відносно рухомої інерційної системи координат, зв'язаної з агрегатом). Звичайно, тут не враховуються випадкові коливання положення сопла внаслідок вібрації чи нерівності колії.

У першому наближенні вважаємо, що нерівномірності, внесені цими коливаннями, настільки незначні, що вони повністю поглинаються нерівномірностями турбулентного процесу поширення струменя та нерівномірністю атмосферних процесів у приграничному прошарку повітря. Лише коротко можна відзначити, що сумарні коливання робочого органу агрегату в горизонтальній та вертикальній площинах неоднаково впливають на нерівномірність нанесення препарата. Дійсно, якщо на поступальний рух агрегату накласти, наприклад, синусоїдальні коливання у горизонтальній площині з деякою частотою  $\omega$ , то у віддалених точках відносна поступальна швидкість струменя буде

$$U(X) = U_a + A \cdot \sin(2\pi\omega t)X \quad (9)$$

і, отже, при

$$X = U_a/A$$

швидкість струменя може, навіть, прийняти нульове миттєве значення. З цією точкою, очевидно, пов'язане максимальне осадження препаратів. Через півперіода коливань відбудеться мінімальне осадження (пов'язане з максимальною швидкістю струменя).

Надалі розглянемо такі дві ділянки струменя: вільний струмінь ( $\alpha_r < \alpha$ ) і ковзаючий струмінь ( $\alpha_r > \alpha$ ).

Для отримання траєкторії струменя у ламінарному потоці, що зноситься, застосуємо співвідношення відомої апроксимації струменя деяким квазітвердим тілом [1,3]. Розглянемо рівновагу елементарного об'єму ділянки струменя з площиною поперечного перерізу  $S_n$  завдовжки  $dL$ .

Для визначення траєкторії струменя використаємо рівняння (2). У ортогональній проекції отримуємо співвідношення

$$dN + dF = 0. \quad (10)$$

Для замикання задачі тепер замість гіпотези про постійність проекції моменту кількості руху струменя на напрям, ортогональний до повітряного потоку, будемо мати таке співвідношення:

$$\int_{S^-} p^- \cdot U^{-2} \cdot dS = \int_{S^+} p^+ \cdot U^{+2} \cdot dS + dT + dQ. \quad (11)$$

Тут  $S^-$  і  $S^+$  – переріз об'єму струменя на відстані  $dX$ ,  $dT$  – сила тертя на ділянці контакту з поверхнею.  $dQ$  – сила тертя на вільній поверхні струменя.

У роботі [2] проведено оцінку членів  $dT$ ,  $dQ$ . Виявлено, що їх сумарний вклад у робочому діапазоні параметрів не перевищує 2.5%, тому в першому наближенні обмежимося рівнянням (11) у класичній формі

$$\int_{S^-} p^- \cdot U^{-2} \cdot dS = \int_{S^+} p^+ \cdot U^{+2} \cdot dS. \quad (12)$$

Для складових тиску потоку на елемент вигнутого струменя отримуємо відповідні залежності нормального тиску і відцентрової сили

$$dN = C_n \rho_w \frac{W^2}{2} h \cdot \sin^2 \gamma dL, \quad (13)$$

$$dF = \frac{\bar{U}^2}{R} \rho_v dV = \frac{\bar{U}^2}{R} \rho_v S_g dL. \quad (14)$$

Тут  $R$  – місцевий радіус кривизни струменя;  $\bar{U}$  – середня за перерізом поздовжня швидкість

$$\bar{U} = \frac{1}{dV} \left[ \int_{dS} U d\sigma \right]. \quad (15)$$

Цих рівнянь, як наведено у [2], достатньо для знаходження траєкторії руху струменя. Крім цього, за деяких припущень щодо форми струменя, можна отримати аналітичний розв'язок у вигляді

$$Y = \frac{2}{k} \left( \pm \sqrt{(kX + \text{ctg}\alpha_0)} - \text{ctg}\alpha_0 \right), \quad (16)$$

де

$$k = \frac{C_n \rho_w W^2}{S_{n_0} \rho_{u_0} U_0^2 \sin^2 \alpha_0}.$$

У разі визначення векторної суми повітряного потоку, зумовленого рухом агрегата та наземним вітровим потоком, для кута  $\alpha_0$  отримуємо безпосередньо його значення

$$\alpha_0 = \text{arctg} \left( \frac{(U_a \pm U_w^x)}{U_w^y} \right).$$

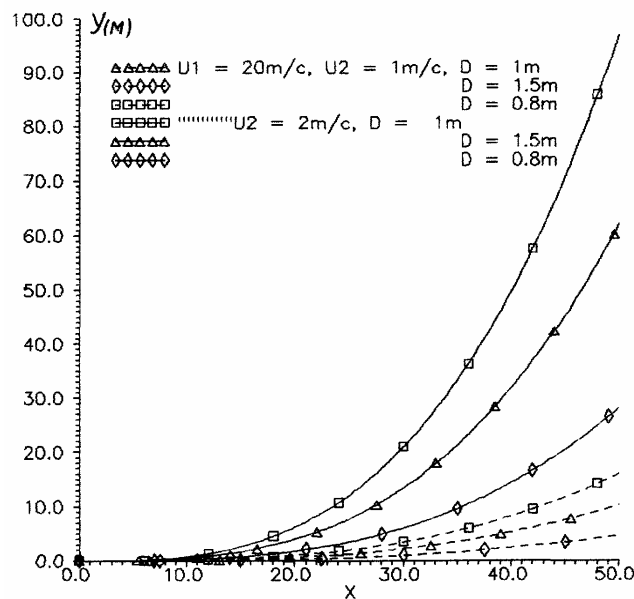


Рис. 2. Траєкторії руху струменя при різних співвідношеннях між параметрами сопла, швидкості руху обприскувача та повітряного потоку.

На рис. 2 показано траєкторії руху струменя при різних співвідношеннях між параметрами. Початкову швидкість струменя вибирали такою як у серійних вентиляторних обприскувачів  $U_1 \approx 20$  м/с, а поперечну швидкість повітряного потоку задавали  $U_2 = 2$  м/с.

Кут інжекції – прямий. Вибирали в обох випадках різні діаметри сопел вентилятора: 0,8; 1,0; 1,5 м.

З рис. 2 видно, що, навіть, при відносно незначній швидкості зносу  $U_2$  траєкторія струменя стає дуже нахиленою при малому вихідному діаметрі сопла обприскувача. Тому для збільшення далекобійності струменя треба збільшувати його початковий діаметр.

1. Абрамович Г.П. Теория турбулентных струй. М., 1960. 2. Гиневский А.С. Теория турбулентных струй и следов. М., 1969. 3. Вахламов С.В. Расчет проектирования струи в сносящем потоке // Инженерно-физический журнал. 1964. Том VII, №10.

УДК 621.914.5:621.9.015

Грицай І.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Технологія машинобудування”

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІКИ РІЗАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ З РОЗПОДІЛЕНИМ ВИХІДНИМ КОНТУРОМ

© Грицай І., 2000

**Запропоновано нові конструкції черв'ячних фрез для двоперехідного попереднього нарізання циліндричних зубчастих коліс. Наведені результати моделювання параметрів зрізів та крутного моменту на вісі фрези, теоретично досліджено особливості динаміки процесу під час використання фрез зі стандартним та модифікованим профілем. Показано можливість покращання динаміки зубонарізання, підвищення продуктивності, точності обробки та стійкості інструменту під час використання фрез нових конструкцій.**

**New constructions of screw type hobs for two ways cutting of cylindrical cog-wheels before their final processing; the results of the modelling of the parameters of the cutting and torque being applied to a hob by the usual screw-type hob and by the screw-type hob of the modified profile. The possibility of decreasing the parameters and the force of cutting, of leveling of forced vibrations and dynamic loads, the improving of the quality of cog-wheel production**

Нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами є основним методом попереднього і напівчистового оброблення циліндричних зубчастих коліс 7-9 ступеня точності. З огляду на універсальність цього методу та його широке розповсюдження в усіх галузях машинобудування, над удосконаленням конструкцій черв'ячних фрез постійно працюють дослідники та наукові колективи. Проте, внаслідок специфіки самого об'єкта виготовлення – зубчастих коліс, та складностей аналітичного описання формування їх зубців, досі відсутня універсальна комплексна модель, що відтворює закономірності перебігу зубонарізання в умовах обкочування. Здебільшого теоретичною базою для аналітичного моделювання роботи черв'ячної фрези є введене А.К.Сидоренком уявлення про зону контакту черв'ячної фрези з заготовкою у вигляді поверхні перетину двох гладких циліндрів з перехресними вісями, один з яких має зовнішній діаметр черв'ячної фрези, а другий – зовнішній діаметр зубчастого колеса, яке підлягає обробці [1]. Проте, за такого підходу неможливо врахувати дійсну поверхню різання для кожного окремого зубця і лека черв'ячної фрези, яка є перехідною поверхнею між прорізаною частиною западини між суміжними зубцями, та ще необробленою поверхнею заготовки. У той же час, без врахування справжніх форми і розмірів цієї складної просторової поверхні будь-яка модель