

тоді на них звернуть увагу 44 % користувачів, які, можливо, за інших умов не звернули б на них уваги.

Оновлювати інформацію про товари та послуги можна не частіше одного разу на тиждень, так як 63 % користувачів частіше і не користуються послугами Інтернет, хоча через пару років інформацію прийдеться оновлювати значно частіше. Щодо рівня забезпеченості вітчизняного користувача, то середній клас (51 %) – зовсім не погана аудиторія для рекламування будь-яких товарів.

Література

1. www.itc.com
2. www.rambler.ru
3. www.ru.net
4. www.spylog.com
5. Загородній А. Г., Вознюк Г. Л., Смовженко Т. С. Фінансовий словник. – Львів: Вид. ДУ "Львівська політехніка", 1996. – 384 с.
6. Уткин Э. А. Управление фирмой. – М.: Акталіс, 1996. – 516 с.

УДК 631.348

Докторант І.А. Вікович, канд. техн. наук – ДУ "Львівська політехніка"

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИФУЗІЙНОГО ОСАДЖЕННЯ КРАПЛІН ПРЕПАРАТУ НА РОСЛИНИ ПРИ ЇХ ОБПРИСКУВАННІ

Розглянуто процес дифузійного осадження краплін препарату на рослини при обприскуванні обприскувачами. Розроблено математичну модель осадження краплін препарату з тіла струменя і гравітаційного осадження краплін на рослини.

Doctorate I.A. Vikoich – ДУ "Львівська політехніка"

Mathematical model of diffusive precipitation of drops preparation on plants during the spraying of ma for chemical protection of plants

This article covers problem of diffusive precipitation of drops of preparation on plants during the spraying. Is designed mathematical model of precipitation of drops of preparation from the solid of a stream and gravitate precipitations of drops on plants.

Технологічний процес нанесення препаратів на рослини машинами для хімічного захисту рослин у вигляді крапельного розчину чи твердої дрібнодисперсної складової за допомогою вільного струменя пов'язаний з оптимізацією параметрів агрегатів та самого процесу нанесення препаратів. У сільському господарстві для захисту рослин застосовуються: авіація, вентиляторні та штангові обприскувачі різних типів і потужностей. Але для всіх типів агрегатів основне завдання – це локалізація і рівномірність обприскування. Обприскування в основному пов'язане з екологічними й економічними вимогами і надійністю та довговічністю машин для хімічного захисту рослин. Неправильне і неякісне обприскування рослин може спричинити передозування препаратів на окремих ділянках поля і їх недопустимо високий вміст у продуктах. Навіть для штангових обприскувачів, що відзначаються порівняно найвищою рівномірністю і локалізацією внесення препаратів зараз застосовуються схеми примусового вдвудання препаратів вертикальними потоками у кожусі, розташованому вздовж штанги. Тим більш актуальною є зада-

ча оптимізації параметрів технологічних процесів внесення препаратів за допомогою вентиляторними обприскувачами, які продовжують широко застосовуватися. Ця робота є початковою у цьому плані. У ній розглядаються деякі математичні моделі цих процесів, що дають змогу прогнозувати локалізацію та рівномірність внесення препаратів вентиляторними обприскувачами.

Дифузійне осадження краплін зі струменя – це складний і не досить вивчений процес, який ускладнюється додатковими факторами взаємодії повітряних вітрових потоків [1], складними закономірностями осадження частинок у рослинному покриві [2]. Тому розглянемо дещо спрощені математичні моделі осадження краплін безпосередньо з тіла струменя. Як буде розглянуто далі, струмінь можна розбити на три зони: зону вільного розповсюдження, зону струменя, який стелиться, та зону руйнування. Розглянемо спочатку середню зону – зону струменя, що дотикається до поверхні (відомий випадок напівобмеженого струменя). Знайдемо густину осадження краплін рідини на деякій віддалі X від сопла. Вона буде дорівнювати:

$$dP = \int_{dS_b} C_z \bar{V}' \cdot \rho \cdot d\sigma, \quad (1)$$

де: dS_b – зона контакту струменя з поверхнею одиничної довжини (рис. 1); $\bar{V}'$ – вертикальна складова усереднених турбулентних пульсацій у струмені; ρ – концентрація домішки; C_z – коефіцієнт захоплення поверхні рослинності, який буде заданий нижче.

Як бачимо, в (1) враховане лише дифузійне осадження краплін. Справді, для розмірів крапель у робочому діапазоні $D < 400$ мкм це буде мати місце, оскільки швидкості гравітаційного осідання краплін мають порядок десятків сантиметрів за секунду, а швидкості у струмені порядку десяти – двадцяти метрів за секунду. Розглянемо три модельні задачі осадження краплін:

- струмінь плоский, безмежний у горизонтальному напрямку;
- струмінь напівкруглий, розподіл краплін рівномірний;
- струмінь напівкруглий, розподіл домішки має автомодельний характер.

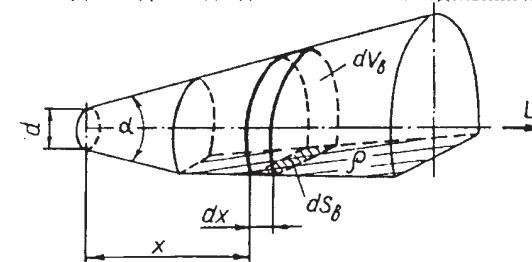


Рис. 1. Схема осадження краплін препарату на рослини

Запишемо рівняння балансу речовини (1) у кожному з цих випадків.

У першому випадку отримуємо для секундної витрати через переріз струменя

$$dQ = -C_z \cdot \rho \cdot \bar{V}' \cdot dX. \quad (2)$$

Розширення плоского струменя, так як і круглого, можна вважати лінійним

$$h = h_0 + kX. \quad (3)$$

Густина розподілу частинок вздовж перерізу дорівнює

$$\rho = \frac{Q}{SU}. \quad (4)$$

На основі (2-4) отримуємо:

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{n \cdot dX}{m + X}. \quad (5)$$

Справді, саме такий раціональний вираз характеризує поздовжню швидкість струменя, а, отже, кількість домішки, яка знаходиться у даному об'ємі V_b (рис. 1). У зв'язку з розширенням струменя густина домішки у приповерхневому шарі спадає саме так як (5), а враховуючи, що збільшення ширини струменя та зменшення швидкості осадження себе взаємно компенсують тому отримуємо (5). Тут n та m деякі сталі величини, оскільки відношення

$$\bar{V}'/U = \text{const} = \gamma = 0.12 - 0.18.$$

Праву частину співвідношення (5) задаємо у формі раціонального виразу, що має такий же характер зменшення, як і поздовжня швидкість. Значення параметру m у різних авторів різне. Воно залежить від форми сопла, характеру початкового формування потоку (чи присутні елементи, що підвищують, чи, навпаки, зменшують турбулентність). Проте всі ці особливості згладжуються у струмені, що вільно поширюється і можуть бути враховані тільки одним параметром m .

Інтегруючи рівняння (5), визначимо Q :

$$Q = \frac{Q_0 m^n}{(m + X)^n}. \quad (6)$$

Для розподілу густини осадження препарату на ширині осадження отримуємо:

$$dQ = -\frac{Q_0 m^n}{(m + X)^n} \cdot \frac{n \cdot dX}{m + X}. \quad (7)$$

У випадку з напівкруглим струменем і рівномірним розподілом крапель ($\gamma = 0.14$)

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{n}{m + X} = -\frac{0.14}{\pi(2.25r_0 + 0.22X)}, \quad (8)$$

тобто також має місце співвідношення (7).

Розглянемо тепер деяку течію з автомодельним розподілом концентрації домішки, поздовжньої швидкості, та поперечної усередненої турбулентної швидкості:

$$\rho = \rho(X) \cdot f_p(\bar{Y}, \bar{Z}), \quad (9)$$

$$U = U(X) \cdot f_u(\bar{Y}, \bar{Z}), \quad (10)$$

$$\bar{V}' = V(X) \cdot f_v(\bar{Y}, \bar{Z}), \quad (11)$$

де $f_u \approx f_v = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{c_x}\right)^2}$, f_p може бути задана такою ж функцією або як в [1].

Тут $\bar{Y}, \bar{Z}$ – безрозмірні координати, введені у перерізі X :

$$\bar{Y} = Y/r(X), \quad \bar{Z} = Z/r(X).$$

Введемо аналогічні позначення для цих величин у зоні контакту:

$$\rho = \rho^b(X) \cdot f_p^b(\bar{Y}), \quad (12)$$

$$U = U^b(X) \cdot f_u^b(\bar{Y}), \quad (13)$$

$$\bar{V}' = V^b(X) \cdot f_v^b(\bar{Y}) \quad (14)$$

Запишемо рівняння балансу речовини у цьому випадку:

$$dP = \int_{dS_b} C_z f_v^b V^b f_p^b p^b d\sigma. \quad (15)$$

Тоді рівняння потоку буде мати такий вигляд:

$$Q = \int_S p U d\sigma = \int_S p f_p^b U f_u^b d\sigma. \quad (16)$$

Після підстановки (12-14) у (15) та (9-11) в (16) отримаємо такі співвідношення:

$$dP = C_z V^b p^b \int_{dS_b} f_v^b f_p^b d\sigma = r C_z V^b p^b C_b, \quad (17)$$

$$Q = C_z V_p \int_S f_v f_p d\sigma = r^2 C_z V_p C_S, \quad (18)$$

де C_S та C_b – деякі константи, що характеризують автомодельний розподіл краплин на поверхні осадження та у тілі струменя.

$$C_b = \int_{-\frac{r}{2}}^{\frac{r}{2}} f_v^b(\tau) f_p^b(\tau) d\sigma, \quad (19)$$

$$C_S = \int_{S_1} f_v(\sigma) f_p(\sigma) d\sigma. \quad (20)$$

При підстановці (17-20) у рівняння балансу речовини для концентрації домішки отримаємо аналогічне (5) співвідношення:

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{C_b V^b}{C_S r U^b} = -\frac{n dX}{m + X}. \quad (21)$$

Отже, аналогічне значення розподілу осаду на довжині площадки контакту (воно буде відрізнятися тільки коефіцієнтом n) таке:

$$dQ = \frac{n \cdot dX}{(m + X)^n} \cdot \frac{Q_0}{m + X}, n = \frac{C_b}{C_z}.$$

Співвідношення (5), (8), (21) дають змогу визначити величину миттєвого відкладення домішки у зоні контакту струменя з поверхнею. Однак, треба ще врахувати саму форму струменя у горизонтальній площині, дифузії краплин з тіла струменя у повітря. Справді, як показують дослідження [1], у початковій зоні струменя можливе виникнення складного вихрового руху безпосередньо між тілом струменя та поверхнею, що спричинить як значну ежекцію повітря у стру-

мін, так і деяку дифузію домішки зі струменя. Цей процес не можна виключити у подальшому процесі поширення струменя, оскільки, як видно в [1], у його перерізі виникають складні вихрові рухи внаслідок взаємодії з поперечним потоком. На даному етапі досліджень цю величину можна оцінити тільки наближено. У даній роботі ця величина визначена з достатньою для практики точністю наближено числовим методом.

Розглянемо гравітаційне осадження краплин на рослини. При русі частинок у струмені діє сила земного тяжіння, яка відіграє тим більшу роль, чим більший їх діаметр D . За абсолютною величиною вона значно менша, ніж аеродинамічні сили. Проте у сумарному ефекті на достатній віддалі від початку струменя необхідно також її врахувати. Якщо концентрація домішки не перевищує 2 %, що завжди справджується при малооб'ємному обприскуванні, то можна знехтувати взаємодією між частинками, а також їх вплив на кінематику струменя. Але, навіть, задача про ізольовану сферичну однорідну частину у потоці не знайшла повного аналітичного розв'язку [1]. Тому розглянемо деякий наближений спосіб визначення швидкості гравітаційного осідання краплин препарату у струмені при обприскуванні вентиляторними обприскувачами.

Аналогічно до (5) отримуємо рівняння балансу у вигляді:

$$\frac{dQ}{q} = - \frac{\bar{n} dX}{m + X} F_v(X), \quad (22)$$

де відношення швидкостей на цей раз не постійне, а задається коефіцієнтом $F_v(X)$.

На основі (22), як у випадку дифузійного осадження, можна визначити частину препарату, що відповідає гравітаційному осадженню. Якщо вважати, що F_v – постійне (що має місце для середньої частини струменя, де взаємозрівноважуються впливи гравітаційної та аеродинамічної складових), то, аналогічно, як і вище (1-21), отримуємо аналітичний розв'язок. Саме такий дещо спрощений підхід було застосовано при обчисленнях розподілу густини препарату при обприскуванні вентиляторними обприскувачами, результати яких наведені на рис. 2. Тут розглядалася залежність розподілу густини осадження (у частці до загальної витрати) залежно від узагальненого коефіцієнту захоплення $C_z = n$, тобто значення чисельника у (5), (8), (21) чи (22). У початковій зоні, зона контакту коректувалася на основі геометричних міркувань: висоти сопла ($H=1.2m$), кута нахилу струменя та конусності струменя вентиляторних обприскувачів [3]. Ці геометричні параметри машин для хімічного захисту рослин, а також наявність перехідної зони при початковому контакті струменя з ґрунтом, можна врахувати таким простим аналітичним виразом

$$\frac{dQ}{Q} = - \frac{n \cdot X^* dX^*}{m^* + X^{*2}} X^* = X - X_k, \quad (23)$$

де X_k – початкова точка контакту струменя з полем.

Перевага такого виразу у тому, що густина осадження знаходиться в аналітичній формі (позначку $*$) пропущено, враховуючи що вона означає простий зсув функції на X_k .

$$dQ = - \frac{Q_0 X m^{*n}}{(m^* + X^2)^n} \cdot \frac{n \cdot dX}{m^* + X^2}. \quad (24)$$

Одержана аналітична залежність (24) характерна тим, що спочатку значення густини осадження краплин зростає, а потім спадає, а це переважно простежується в експериментальних дослідженнях [2].

Проілюструємо наше основне співвідношення на конкретних прикладах. Розглянемо спочатку залежність густини осадження краплин препарату від значення узагальненого коефіцієнта захоплення $C_z=n$, $Q_0=1$ (рис. 1). Розглянемо також залежність густини розподілу препарату від m , тобто залежність від початкового діаметра струменя d (рис. 2).

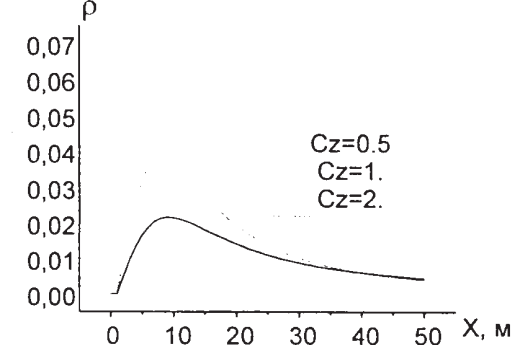


Рис. 2. Зміна густини осадження краплин препарату ρ на ширині обробітку x при різних значеннях узагальненого коефіцієнта захоплення C_z

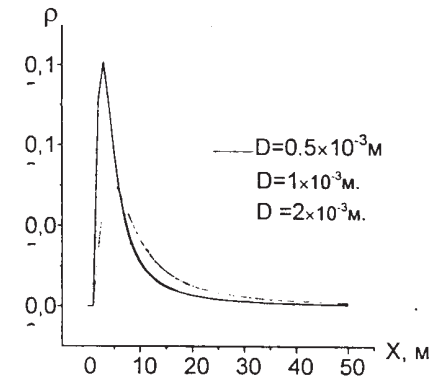


Рис. 3. Розподіл густини осадження препарату ρ на ширині обробітку x для різних діаметрів крапель D

Максимальне значення розподілу густини препарату при обприскуванні вентиляторними обприскувачами буде досягатися при:

$$X = \frac{m^{0.5}}{(n+1)^{0.5}}.$$

Варто відзначити, що цей підхід щодо математичного моделювання дифузійного осадження краплин препарату на рослини машинами для хімічного захисту рослин треба вважати досить спрощеним. Проте, враховуючи недостатнє вивчення мікропроцесів при осадженні частинок препарату серед рослинного покриву, а також, як вище зазначалося, відсутність точних моделей границі струменя у потоці, що зноситься, отримані якісні оцінки у першому наближенні можна включати у розрахункові схеми при математичному моделюванні машин для хімічного захисту рослин, де окремі параметри яких все ж таки підлягають ідентифікації на основі експериментальних даних. З рис. 2 і 3 видно, що розглянуті параметри суттєво впливають на розподіл густини осаду по ширині смуги обробітку. Тому їх необхідно враховувати при оптимізації технологічного процесу нанесення краплин препаратів на рослини, особливо вентиляторними обприскувачами.

Література

1. Абрамович Г.Г. Теория турбулентных струй. – М.: Наука. – 1960. – 234 с.
2. Берглянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Наука. – 1975. – 448 с.
3. Вікович І.А., Дівець Б.М. Математична модель нанесення краплин рідини на рослини обприскувачами/ Вісник НУ "Львівська політехніка" оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – 2000, №394. – С. 6-11.

УДК 658.527.011.56

Проф. Д.Л. Дудюк, д-р техн. наук – УкрДЛТУ

МІСТКІСТЬ НАГРОМАДЖУВАЧА МІЖ ДВОМА ВЕРСТАТАМИ АБО ДІЛЬНИЦЯМИ

Аналізуються різні підходи до розрахунку оптимальної місткості нагромаджувача між двома верстатами чи виробничими дільницями. Враховуються впливи їх параметрів та умови функціонування.

Prof. D. Dudyuk, Dr. Sc. – USUFWT

Buffer Capacity Between Two Machine-Tools or Stages

Different approaches for calculation of optimal capacity of the buffer between two machine-tools or production stages are analysed. Their parameters influence and conditions of functioning are taken into account.

Ефективним засобом зниження додаткових втрат робочого часу обладнання в автоматизованих лініях і технологічних потоках є використання міжопераційних запасів між сусідніми верстатами чи виробничими дільницями. Оптимальну місткість цих запасів визначають за різними технічними чи економічними критеріями. Одночасне використання двох і більше критеріїв призводить до ускладнення оптимізаційної моделі, методу її розв'язування, а часто й самого розв'язку. Найбільш повним і об'єктивним, на нашу думку, є критерій питомих приведених втрат на виготовлювану продукцію. Він часто використовується у задачах оптимізації параметрів і структури автоматизованих виробничих систем.

Питомі приведені втрати (ППВ) для двох дільниць (верстатів) з нагромаджувачем між ними складаються з відповідних витрат на першій $Z_1/(1-H_1)$ і на другій $Z_2/(1-H_2)$ технологічних операціях та у нагромаджувачеві місткістю на M заготовок (деталей) $MZ_6/(1-H_2)$, тобто

$$Z_c = Z_1/(1-H_1) + Z_2/(1-H_2) + MZ_6/(1-H_2), \quad (1)$$

де: Z_1, Z_2, Z_6 – номінальні ППВ відповідно на першій і другій технологічних операціях та у нагромаджувачі одиничної місткості; H_1, H_2 – коефіцієнти втрат робочого часу відповідно на першій і другій операціях.

На величину накладених (додаткових) втрат робочого часу, як відомо [1,2], визначальний вплив проявляють співвідношення номінальних продуктивностей обладнання на послідовних технологічних операціях, параметри стабільності інтервалів випуску продукції на цих операціях (або коефіцієнти їх варіації) та місткість нагромаджувача між ними.

У випадку однакових середніх величин номінальних продуктивностей обладнання на обох технологічних операціях коефіцієнти втрат робочого часу теж будуть однаковими [3]

$$H_1=H_2=(KM+\Pi+1)^{-1} \approx (KM + \sqrt{\pi K} + 1)^{-1} = \left(\frac{M}{\sqrt{2}} + \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} + 1 \right)^{-1}, \quad (2)$$

де: K – еквівалентна величина параметра стабільності $K = 2/(K_1^{-1} + K_2^{-1})$; K_1, K_2 – параметри стабільності інтервалів випуску відповідно на першій і другій технологічних операціях; ν – еквівалентна величина коефіцієнта варіації $\nu = 1/\sqrt{K}$; M – місткість нагромаджувача;

$$\Pi = 2^{2K} : \left(\frac{2K}{K} \right) \approx \sqrt{\pi K} = \sqrt{\pi}/\nu.$$

Підставивши значення (2) у вираз (1) та провівши необхідне його впорядкування, знаходимо функцію мети для оптимізації місткості нагромаджувача між двома дільницями (верстатами) за критерієм ППВ

$$Z_c = (MZ_6 + Z_1 + Z_2) \left(\frac{1}{KM + \Pi} + 1 \right) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Оскільки тут нема необхідності накладати на задіяні параметри будь-які обмеження, крім тривіальних, то для знаходження оптимального розв'язку використаємо простий і доступний метод диференціального числення. Для цього візьмемо похідну з виразу (3) по місткості M , прирівняємо до нуля і отримаємо

$$\frac{\partial Z_c}{\partial M} = (KM + \Pi)^2 + \Pi - K \frac{Z_1 + Z_2}{Z_6} = 0. \quad (4)$$

З останнього рівняння знаходимо оптимальну місткість нагромаджувача між двома виробничими дільницями

$$M_0 = \left(\sqrt{K \frac{Z_1 + Z_2}{Z_6}} - \Pi - \Pi \right) : K. \quad (5)$$