

УДК 621.01: 631.354

**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РІДИННО-
ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ**

*Заєць М. Л., Бабич О. М.
Поліський національний університет*

Аналіз літературних джерел. Результати аналізу літератури показують, що характеристики форсунок інжекторів, які в першому

наближенні можна вважати найпростішими карбюраторами, вивчені значно менше, ніж щілинних, відцентрових і роторних форсунок. Це пов'язано з більш складними фізичними процесами під час роботи таких небулайзерів і необхідністю враховувати вихід двох потоків з різними характеристиками і їх взаємодію один з одним і з навколишнім середовищем. Форсунки, які використовуються в конструкції струминних обприскувачів, забезпечують необхідну агротехнікою схему розпилення, параметри якої не оптимізовані. Ефективність інжекторної форсунки багато в чому залежить від співвідношення рідинної і повітряної складових крапель, яке безпосередньо залежить від робочого тиску та розміру повітряного отвору розпилювача.

Постановка питання дослідження. Робочий процес утворення робочої суміші повітря та рідини у досліджуваній пристрої подібний до принципу сумішоутворення в бензинових двигунах [1] (рис. 1).

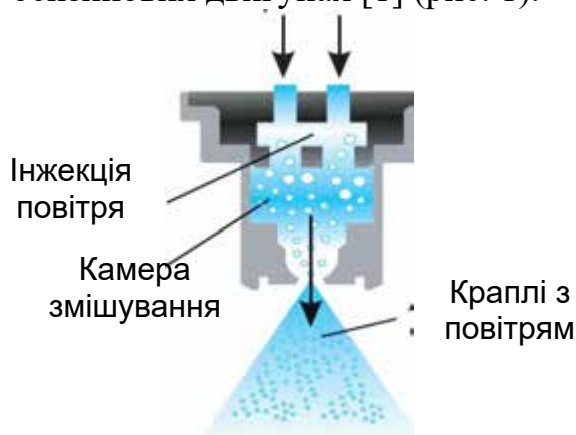


Рис. 1. Принцип сумішоутворення

Потік повітря, що надходить в карбюратор, звужується в місці установки розпилювача бензину (жиклера). Швидкість повітря в звуженому місці зростає, а тиск падає, внаслідок чого виникає розрідження і рідина під дією вакууму поступає через жиклер, змішуючись з повітрям.

Рівняння Бернуллі для потоку повітря запишеться наступним чином[1]:

$$\frac{P_a}{\gamma_n} + \frac{V_a^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_n} + \frac{V_{2в}^2}{2} (1 + \xi_n), \quad (1)$$

де p_a - атмосферний тиск, рівний 0,1 МПа;

γ_n - питома вага повітря, Н/м³;

V_a - швидкість повітря на вході в карбюратор, $V_a=0$, м/с;

$V_{2в}$ - швидкість повітря в місці установки жиклера, м/с;

p_2 - тиск змішаного двофазного потоку, МПа;

ξ_n - коефіцієнт опору повітря, що переміщується по каналу.

Для рідини рівняння Бернуллі матиме вигляд:

$$\frac{P_a}{\gamma_p} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{V_{2в}^2}{2} (1 + \xi_p), \quad (2)$$

де γ_p - питома вага рідини, Н/м³;

v_1 - швидкість рідини, $v_1 = 0$, м/с;

$v_{2в}$ - швидкість рідини в місці установки розпилювача, м/с;

ξ_p - коефіцієнт опору рідини, що переміщується по жиклеру.

Виклад основного матеріалу. Відмінною особливістю інжекторного розпилювача є камера 5 змішування робочої рідини і повітря і зв'язок камери змішування з атмосферою через інжектор 4 (рис. 2.).

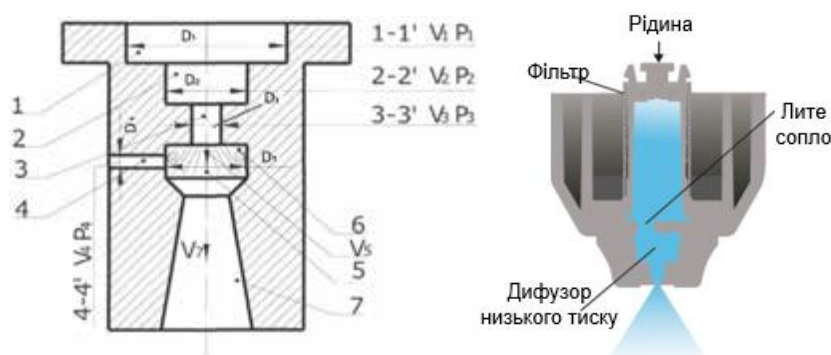


Рис. 2. Схема інжекторного розпилювача: 1 і 2 – камери нагнітання робочої рідини; 3 – канал; 4 – повітряний отвір; 5 – камера змішування; 6 – турбулентна зона; 7 – розширювач Вентурі.

Конструкція працює наступним чином. рідина під тиском p_1 і швидкість V_1 Для входу в циліндричну камеру через діаметр 1 D_1 (секція 1-1'). Камера 2 (секція 2-2') з меншим діаметром каналу D_2 швидкість рідини зросла до v_2 , тиск падає до P_2 . а потім по черзі Рідина надходить в канал діаметром 3 D_3 має швидкість V_3 під тиском p_3 , в Камера змішування 5 діаметром D_5 де він набирає швидкість V_5 . Камера 5 з'єднана з атмосферою через інжекційний отвір 4 діаметром D_4 (переріз 4-4'). В камері 5 утворюється турбулентна зона у вигляді повітря кільцевого об'єму [1].

Для визначення параметрів інжекторного розпилювача застосуємо рівняння Бернуллі. Рух струменя суміші в перетинах 1-1 і 2-2 описується залежністю (3) [1]:

$$\frac{P_1}{\gamma_p} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{V_{2в}^2}{2} (1 + \xi_k) \quad (3)$$

де γ_p - питома вага рідини;

ξ_k - коефіцієнт опору проходженню рідини в кан. 1, 2 і в кан. 3, $\xi_k = 0,04 - 0,07$ [1].

При русі рідини в перерізах 2-2, 3-3 і повітря в перерізі 4-4 рівняння Бернуллі мають вигляд:

$$\frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma_p} + \frac{V_3^2}{2g} (1 + \xi_{\kappa}), \quad (4)$$

$$\frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{V_a^2}{2g} = \frac{P_4}{\gamma_p} + \frac{V_4^2}{2g} (1 + \xi_{\text{во}}), \quad (5)$$

де P_a - атмосферний тиск, рівний 0,1 МПа;

P_4 - тиск повітря в перерізі 4-4', МПа;

γ_p - питома вага повітря, Н/м³;

V_a - швидкість повітря в перерізі 4-4', м/с;

$\xi_{\text{во}}$ - коефіцієнт опору повітрю, що надходить через отвір 4, $\xi_{\text{во}} = 0,07 \dots 0,1$ [3].

Об'єм повітря, що надходить через інжектор, залежить від швидкості робочої рідини в камері 5 [1]:

$$q_n = F_4 V_5, \quad (6)$$

де – F_4 площа перерізу 4-4, м². $F_4 = \frac{\pi D_4^2}{4}$

q_n - кількість повітря, що надходить в розпилювач, м³/с;

V_5 - швидкість рідини в камері змішування, м/с.

З рівняння (6) маємо:

$$D_4 = \sqrt{\frac{4q_n}{\pi V_5}}, \text{ м} \quad (7)$$

Виконавши аналіз балансу напору, встановимо V_5 при всмоктуванні повітря через отвір 4 в камері змішування 5, що буде мати вигляд:

$$\frac{P_3}{\gamma_p} + \frac{P_4}{\gamma_n} = \frac{P_5}{\gamma_p} + \frac{V_5^2}{2g} (1 + \xi_{\kappa c}) - \frac{P_5}{\gamma_p} - \frac{V_7^2}{2g} (1 + \xi_{\text{рв}}), \quad (8)$$

де V_7 - швидкість робочої рідини на початку витратоміра Вентурі, м/с;

$\xi_{\kappa c}$ - коефіцієнт опору проходженню робочої рідини через камеру 5,

$\xi_{\kappa c} = 0,04 \dots 0,06$ [1]; $\xi_{\text{рв}}$ - коефіцієнт опору витратоміра Вентурі при русі по ньому рідинно-повітряної суміші, $\xi_{\text{рв}} = 0,01 \dots 0,02$ [1].

Для характеристики інжектора відомий безрозмірний показник q , що визначає відносну швидкість на початку камери змішування [1]:

$$a = \frac{V_7}{V_5} = U - \sqrt{U^2 - \frac{1 - \xi_{\kappa c}}{1 + \xi_{\kappa c}}}, \quad (9)$$

де

$$U = \frac{1}{2q} \left[\frac{1 - \xi_{\kappa c}}{1 + \xi_{\kappa c}} \left((1 + q^2)(1 + \xi_{\text{рв}})(1 + \xi_{\kappa c} + \xi_{\text{рв}}) - q^2 \right) - 1 \right], \quad (10)$$

$q = \frac{q_n}{q_p}$ - співвідношення витрати повітря та рідини, які протікають через розпилювач, м³/с.

Рівняння (8) з урахуванням залежності (9) буде мати вигляд:

$$V_5 = \sqrt{\frac{2g(p_3\gamma_n - p_\Delta\gamma_p)}{\gamma_n\gamma_p[1 - \xi_{kc} - a^2(1 + \xi_{pB})]}} \quad (11)$$

Значення V_5 підставимо в рівняння (7) і отримаємо:

$$D_4 = \left(\frac{4q_n}{\pi}\right)^{0,5} \left(\frac{\gamma_n\gamma_p[1 + \xi_{kc} - a^2(1 + \xi_{pB})]}{2g(p_3\gamma_n - p_\Delta\gamma_p)}\right)^{0,25}$$

Параметри $V_1, V_2, V_3, P_2, P_3, P_4$ шляхом розв'язку системи рівнянь(3-5) враховуючи наступні залежності:

$$V_1 = \frac{4g_p}{\pi D_1^2}, \text{ м/с} \quad (12)$$

$$V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2 \quad (13)$$

$$V_2 D_2^2 = V_3 D_3^2$$

Швидкість руху повітря знайдемо з виразу [1]:

$$V_4 = \sqrt{2g(p_1 + A + B)} \quad (14)$$

де:

$$A = \frac{0,08q_p^2(D_2^4 - D_1^4(1 + \xi_k))}{D_1^4 D_2^4}$$

$$B = \frac{0,08q_p^2(D_3^4 - D_2^4(1 + \xi_k))}{D_2^4 D_3^4}$$

Графічну залежність $Vf(p_1)$ представлено на рис. 4.

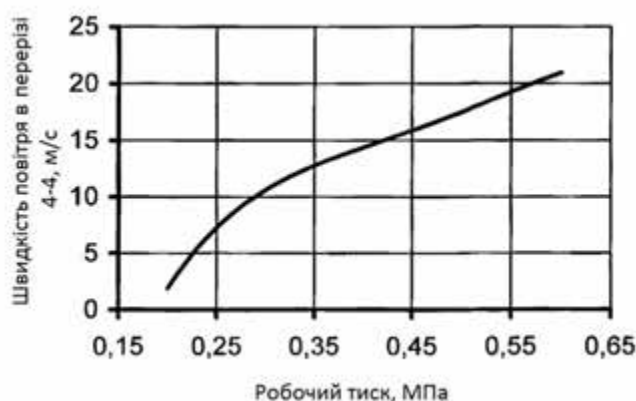


Рис. 4. Графічна залежність $V_4 = f(p_1)$ для інжекторного розпилювача суміші.

Висновок. Аналіз наведеного графіка показує, що зі збільшенням

тиску робочої рідини p_1 збільшується її швидкість проходження через камеру змішування. В результаті збільшується розрідження в порожнинах камер, тому витрачається більше повітря. При цьому максимальний к.к.д. розпилювача зберігається при зменшенні діаметра повітряного отвору D_4 . При збільшенні p_1 в межах 0,2...0,6 МПа величина D_4 зменшується від 1,97 до 1,45 мм.

Список використаних джерел

1. Обладнання для захисту рослин: обприскувачі. ч.1. Методи випробування насадок для розприскування (ISO 5682-1: 1996, IDT) ДСТУ ISO 5682-1: 2005
2. Штангові обприскувачі з розпилювачами, що обертаються. Н.В. Нікітін, Ю.Я. Спиридонів, В.А. Абубікер, М.С. Раскін. Захист та карантин рослин. 2005. №3. С. 46-48.
3. Теплинський І.З. Математична модель дисперсності розпилу пневматичних розпилювачів ежекційного типу / І.З. Теплинський, В.А. Смілик. Техніка в сільському господарстві. 2004. №5. С. 18-20.

ISBN 978-617-8102-06-7

Міністерство освіти і науки України
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
Механіко-технологічний факультет
Кафедра сільськогосподарських машин
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка

ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XXV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
"Сучасні проблеми землеробської механіки"
(17–19 жовтня 2024 року)

*присвяченій 124-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування
механіко-технологічного факультету НУБіП України*



Київ – 2024

ББК40.7

УДК 631.17+62-52-631.3

JEL CLASSIFICATION Q 01; D 24; P 42

З 38

Рекомендовано до друку збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" вченою радою механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 15 жовтня 2024 року протокол № 3.

Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. 527 с.

ISBN 978-617-8102-06-7

В збірнику тез представлено анотований зміст доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок з: розвитку сучасної землеробської механіки; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для рослинництва; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для тваринництва; смарт-технологій машиновикористання, інженерного менеджменту, технічного сервісу; транспортних технологій та логістики; історії аграрної освіти і науки; будівництва сільських територій; надійності машин для сільського, лісового і водного господарств та харчових технологій; удосконалення та нові розробки біотехнологічних процесів і технічних засобів.

Організаційний комітет:

Ткачук В.А. – д.е.н., проф., ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), голова.

Ніколаєнко С.М. – д.п.н., проф., академік НАПН, академік НААН, президент НУБіП, співголова.

Тонха О.Л. – д.с.-г.н., проф., проректорка з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП, співголова.

Братішко В.В. – д.т.н., проф., декан НУБіП, співголова.

Войтюк Д.Г. – к.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри НУБіП, співголова.

Адамчук В.В. – д.т.н., проф., академік НААН, директор ІМА АПВ.

Аулін В.В. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.

Барановський В.М. – д.т.н., проф., ТНТУ імені Івана Пулюя.

Борак К.В. – д.т.н., проф., заступник директора ЖАТФК.

Бредихін В.В. – д.т.н., доц., декан ДБУ.

Вергунов В.А. – д.с.-г.н., д.і.н., проф., академік НААН, директор ННСГБ НААН.

Вечера О.М. – ст. викл. кафедри НУБіП, секретар оргкомітету конференції.

Гуменюк Ю.О. – к.т.н., доц., завідувач кафедри НУБіП.

Гуцол О.П. – к.т.н., доц., керівник приватного підприємства.

Зубко В.М. – д.т.н., проф., декан СНАУ.

Іванишин В.В. – д.е.н., проф., академік НААН, ректор ЗВО «ПДУ».

Іценко Т.Д. – к.п.н., проф., директор ДУ «НМЦВФПО».

Калетнік Г.М. – д.е.н., проф., академік НААН, президент ВНАУ.

Кірчук Р.В. – к.т.н., проф., декан ЛНТУ.

Кобець А.С. – д.н. з держ. упр., проф., ректор ДДАЕУ.

Ковалишин С.Й. – к.т.н., проф., декан ЛНУП.

Гуцол О.П. – к.т.н., власник і бенефіціар аграрних компаній.

Козаченко Л.П. – президент Української аграрної конфедерації.

Кравчук В.І. – д.т.н., проф., академік НААН, директор УМІ АПІ.

Кропівний В.М. – к.т.н., проф., ректор ЦНТУ.

Кульгавий В.Ф. – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів».

Кюрчев В.М. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, радник ректора ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Кюрчев С.В. – д.т.н., проф., ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Лавріненко О.Т. – к.т.н., доц. кафедри НУБіП.

Лукач В.С. – к.п.н., проф., директор ВП НУБіП «НАТІ».

Маруцак П.О. – д.т.н., проф., проректор ТНТУ імені Івана Пулюя.

Мельник В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ДБУ.

Мироненко В.Г. – д.т.н., проф., ІМА АПВ.

Мороз О.О. – Голова Верховної Ради України двох скликань.

Надикто В.Т. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Панцир Ю.І. – к.т.н., доц., декан ЗВО «ПДУ».

Пастухов В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.

Пилипака С.Ф. – д.т.н., проф., завідувач кафедри НУБіП України.

Пугач А.М. – д.н. з держ. упр., проф., декан ДДАЕУ.

Пушка О.С. – к.т.н., доц., проректор УНУС.

Ребенко В.І. – к.т.н., доц., доцент кафедри НУБіП.