

В.М. Поліщук, м.н.с.

ННЦ “Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства” УААН**АНАЛІЗ КІЛЬЦЕВОГО ДРОБОВО ПОВІТРЯНО-РІДИННОЇ СУМІШІ
В ПНЕВМОМЕХАНІЧНОМУ ОБПРИСКУВАЧІ ЗА ТЕОРІЄЮ РОЗДІЛЬНОГО РУХУ***Розглянуті переваги і недоліки пневмомеханічного обприскувача, теоретично обґрунтований рух повітряно-рідинної суміші в його комунікаціях і зроблені висновки про можливість оптимізації конструкції даного обприскувача.*

В ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” УААН розроблений пневмомеханічний малооб’ємний обприскувач з пневматичним осадженням краплин, дискові розпилювачі якого здійснюють дрібнокраплинний розпил робочої рідини з дисперсністю 90...240 мкм ММД і мають показник полідисперсності 1,6–2,52 [4], що в 2–3 рази менший, порівняно з гідравлічними розпилювачами, і практично повністю виключаються витрати пестицидів від скочування краплин з листків на землю, а отже, значно підвищується ефективність їх використання [1]. Він об’єднує в собі переваги малооб’ємних обприскувачів і обприскувачів з примусовим осадженням краплин. В пневмомеханічному обприскувачі застосовується пневматичне осадження краплин, яке виключає втрати робочої рідини від випаровування і знесення вітром дрібнодисперсних краплин. При обприскуванні польових культур пневмомеханічним обприскувачем з’являється можливість працювати на протязі робочої зміни з однією заправкою бака робочою рідиною, оскільки цей обприскувач дозволяє використовувати малі норми внесення робочої рідини, що зменшує витрати ПММ і трудових ресурсів.

В пневмомеханічному обприскувачі витрата рідини має становити 5–50 л/га, або ще менше, а це значить, що, крім того, що витрата рідини дуже мала, вона ще повинна й регулюватись у відносно великих межах, тобто змінюватись більше ніж у 10 разів.

В ІМЕСГ УААН був розроблений дозатор-розподільник з принципово новою системою дозування робочої рідини для застосування в пневмомеханічному обприскувачі. Він складається з трубки Вентурі, що з’єднана з повітряною комунікацією та розподільника повітряно-рідинної суміші. В трубці Вентурі, на одній осі з нею, встановлена трубка з наскрізним отвором, в яку введена трубка для підведення рідини, що з’єднана з нагнітальною гідравлічною комунікацією. В трубці з наскрізним отвором відбувається розпилення робочої рідини, яка під дією повітряного потоку, в залежності від величини його витрати в кільцевому, дисперсно-кільцевому або дисперсному режимах, рухається по трубопроводах.

Перевага такої системи дозування перед гідравлічною полягає в тому, що вона дозволяє надійно та якісно дозувати рідину при малих нормах її витрати. Це досягається за рахунок того, що в запропонованій системі дозування рідини через калібрований отвір відбувається не на один розпилювач, як це робиться в усіх відомих обприскувачах, а на групу розпилювачів. Потім ця рідина розпилюється і в аерозольному стані змішується з повітрям, а до окремих розпилювачів розподіляється повітряно-рідинна суміш, об’єм якої в сотні разів може перевищувати об’єм самої рідини. Завдяки цьому досягається можливість надійного дозування робочої рідини до окремих розпилювачів при малих нормах її витрати.

Однак при деяких режимах роботи пневмомеханічного обприскувача в дозаторі-розподільнику спостерігається нестабільний режим пульсацій, що негативно впливає на якість обприскування польових культур. Визначенню причин виникнення даного режиму і можливості його усунення і присвячені наші дослідження.

Для подальшого тандемного аїнеїааїу руху повітряно-рідинної рїііі а трубах необхідно насамперед визначити режим її руху при заданих умовах.

Існує декілька способів вєсіа-аїу меж ііа дааєіаіе дббб ааідаііеб діаєііі-ааііаіх рїіііае: графічний; порівняння робочої та граничної швидкостей руху суміші та ін.

Для графічного способу вєсіа-аїу меж ііа дааєіаіе дббб діаєііі-ааііаіх рїіііае існують карти режимів руху. Межі режимів руху рїіііае в горизонтальних трубах визначають за діаграмою Бейкера, а у вертикальних – за діаграмою Гріффітса та Уолліса. Однак фактичні результати можуть значно відрізнятись від показників, отриманих за діаграмами [7, с. 25–28].

Іаііаеаа аєсіа-аїу меж ііа дааєіаіе дббб ааідаііеб діаєііі-ааііаіх рїіііае, яка полягає в порівнянні швидкостей руху суміші, наведена а роботі А.А. Іаіааа, Г.Е. Одшарія, О.В. Клапчука та ін. [2, с. 237–264]. Вона має відмінності порівнянні меж ііа дааєіаіе дббб на висхідних, нисхідних та горизонтальних трубах.

На початку розрахунку визначають відносний витратний об’ємний газоміст діаєііі-ааііаіх рїіііае α за формулою [6, с. 52; 2, с. 254]:

$$\alpha = \frac{Q_g}{Q_g + Q_f}, \tag{1}$$

де Q_f – аєооааа дїаєїє, і³/ñ; Q_g – аєооааа газу, і³/ñ; α – відносний витратний об’ємний газовміст (середня об’ємна концентрація).

Після цього підраховують чєнєї $\hat{O}d\acute{o}a\acute{a}$ ñ\acute{o}i\acute{o}i, яке дабааєоадеоо° аїєєа ñєє оужііу іа доо дїаєїє [5], ù ã\acute{i}\acute{a}\acute{i}\acute{f}\acute{i}\acute{a}\acute{a}° дїаї-єї оїааї $Fr_{\bar{n}}$ çа оїдїоєїр:

$$Fr_c = \left[\frac{4(Q_f + Q_g)}{\pi d_0^2} \right]^2 \frac{1}{g d_0}, \tag{2}$$

де d_0 – аїаїаод одоає, і; $Fr_{\bar{n}}$ – чєнєї $\hat{O}d\acute{o}a\acute{a}$ ñ\acute{o}i\acute{o}i, ù ã\acute{i}\acute{a}\acute{i}\acute{f}\acute{i}\acute{a}\acute{a}° дїаї-єї оїааї, і обчислюють бачдїцїдїу оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i а дїаї-єд оїааод w^* çа оїдїоєїр:

$$w^* = \frac{4(Q_f + Q_g)}{\pi d_0^2} \left[\frac{\rho_f - \rho_g}{\sigma g} \right]^{0,25} \left[\frac{\rho_g}{\rho_f} \right]^{0,5}, \tag{3}$$

де w^* – аачдїцїдїа оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i а дїаї-єд оїааод; ρ_f – аоñ\acute{o}єїа дїаєїє, єа/і³; ρ_g – аоñ\acute{o}єїа газу, єа/і³; σ – єїадоїої°їо ñ\acute{a}\acute{a}доїааїаї іадуао дїаєїє, І/і.

Потім розпізнається напрям руху суміші та, відповідно до орієнтації потоку, визначається структура руху суміші. На висхідних ділянках трубопроводу найбільший практичний інтерес матимуть снарядний та кільцевий рухи, а на нисхідних і горизонтальних – снарядний, кільцевий і розшарований, оскільки, як зазначено в [7, с. 21–23, 33–34, 37–40, 370; 8], на межах цих режимів існують ділянки з нестабільним рухом дїаєїї-аачїаїх ñ\acute{o}i\acute{o}aє.

Аєу аєçїа-аїу межи тадоаїао іа висхідних аїєуїєао трубопроводу розраховують аачдїцїдїу абаїє-їу оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i w_a за формулою:

$$w_a = \left(0,82 - 0,0017\bar{\mu}^{-0,6} \right) \cdot 10^{(5,3+115\bar{\mu})(1-\alpha)}, \tag{4}$$

де w_a – аачдїцїдїа абаїє-їа оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i; α – відносний витратний об’ємний газовміст (середня об’ємна концентрація); $\bar{\mu}$ – наааааїа аєїаї-їа а’уçєїñ\acute{o}u дїаєїї-аачїаїç ñ\acute{o}i\acute{o}i,

після чого вона порівнюється з бачдїцїдїою оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i а дїаї-єд оїааод w^* . При $w^* < w_a$ режим руху суміші буде снарядний, а при $w^* > w_a$ – кільцевий.

При нисхідному і горизонтальному рухах суміші аачдїцїдїу абаїє-їу оаєаєїñ\acute{o}u ñ\acute{o}i\acute{o}i w_a визначають за формулою:

$$w_a = \left(2,2 - 0,0017\bar{\mu}^{-0,6} \right) \cdot 10^{(5,3+115\bar{\mu})(1-\alpha)}. \tag{5}$$

Якщо $w^* > w_a$, то режим руху кільцевий, а при $w^* < w_a$ – снарядний чи розшарований.

Наааааїу а’уçєїñ\acute{o}u дїаєїї-аачїаїç ñ\acute{o}i\acute{o}i $\bar{\mu}$ а оїдїоєах (4) і (5) аєçїа-аюоу ує

$$\bar{\mu} = \frac{\mu_g}{\mu_f}, \tag{6}$$

де μ_g – аєїаї-їє а’уçєїñ\acute{o}u ааçо, Іаñ; μ_f – аєїаї-їє а’уçєїñ\acute{o}u дїаєїє, Іаñ.

Вєуї $w^* < w_a$, аєçїа-а’оуну оїаа іñїоааїу ідїаєїаїаї -є дїçоадїааїаї дооо. Аєу оїаї обчислюють єдєдє-їа çїа-аїу -чєнєа $\hat{O}d\acute{o}a\acute{a}$ Fr^* ñ\acute{o}i\acute{o}i за формулою:

$$Fr^* = \left(0,2 + \frac{2 \sin \theta}{\lambda} \right) \frac{e^{-2,5\alpha}}{(1-\alpha)^2}, \tag{7}$$

де Fr^* – єдєдє-їа çїа-аїу -чєнєа $\hat{O}d\acute{o}a\acute{a}$ ñ\acute{o}i\acute{o}i; θ – єоо іадеєо одоає; λ – єїадоїої°їо втрат на дадоу (аїадааєї-їїаї ñ\acute{i}до),

і порівнюють з чєнєїм $\hat{O}d\acute{o}a\acute{a}$ ñ\acute{o}i\acute{o}i, ù ã\acute{i}\acute{a}\acute{i}\acute{f}\acute{i}\acute{a}\acute{a}° дїаї-єї оїааї $Fr_{\bar{n}}$. При $Fr_{\bar{n}} < Fr^*$ доо ñ\acute{o}i\acute{o}i дїçоадїааїєє, а $Fr_{\bar{n}} > Fr^*$ – ідїаєїаєє.

За результатами визначення меж руху повітряно-водної суміші в трубопроводах діаметрами від 5 до 50 мм для витрати повітря $Q_g = 200 \dots 1500$ м³/с і витрати води $Q_f = 0 \dots 1500$ мл/хв., що може спостерігатись у пневмомеханічному обприскувачі, при [7, с. 147]: аєїаї-їє а’уçєоñ\acute{o}i аїає $\mu_f = \mu_g = 1 \cdot 10^{-3}$ Іаñ; аєїаї-їє а’уçєоñ\acute{o}i ñ\acute{a}\acute{i}оду $\mu_g = \mu_n = 1,84 \cdot 10^{-5}$ Іаñ; аоñ\acute{o}єї аїає $\rho_f = \rho_g = 1000$ єа/і³; аоñ\acute{o}єї ñ\acute{a}\acute{i}оду $\rho_g = \rho_n = 1,66$ єа/і³; єїадоїої°їо ñ\acute{a}\acute{a}доїааїаї іадуао аїає $\sigma_f = \sigma_g = 7,28 \cdot 10^{-2}$ І/і можна зробити висновок, що для руху повітряно-водної суміші як у вертикальних, так і в горизонтальних трубах діаметром 5...50 мм при $Q_g = 200 \dots 1000$ м³/год і $Q_f = 0 \dots 1500$ мл/хв. $w^* > w_a$, тому для всіх вищенаведених випадків передбачається кільцевий режим.

Перед початком розгляду кільцевого аїїааçїаї дооо рїдїнн\acute{o}-газових сумішей необхідно визначитись, за якою з існуючих теорій він розглядатиметься. Для цього необхідно здійснити короткий аналіз теорій

μουλοу [7, с. 148]:

$$-\left(\frac{dP_F}{dz}\right)_g = 2C_f \frac{\rho_g j_g^2}{d_0}, \tag{12}$$

де j_g – приведена швидкість газової фази, м/с,
а для рідини $(dP_F/dz)_f$ – за формулоу [7, с. 127; 6, с. 358]:

$$-\left(\frac{dP_F}{dz}\right)_f = 2C_f \frac{\rho_f j_f^2}{d_0}, \tag{13}$$

де j_f – приведена швидкість рідинної фази, м/с.

У кільцевому потоці об'ємні витрати газової фази значно більші витрат рідинної фази, тому водддд ддддд іа ддддд для двофазного гомогенного потоку матиме вигляд [6, с. 350]: $-(dP_F/dz) = 2C_f \rho_g j_g^2 (1 + W_f/W_g)/d_0$ або $-(dP_F/dz) = 2C_f \rho_g j_g^2 (1 + (1-\alpha)\rho_f/\rho_g)/d_0$, що з урахуванням виразів $j_g = Q_g/A$ [2, с. 28] і $A = \pi d_0^2/4$ набуде вигляду:

$$-\frac{dP_F}{dz} = \frac{3,2C_f \rho_g Q_g^2 \left(1 + \frac{\rho_f}{\rho_g} (1-\alpha)\right)}{d_0^5}. \tag{14}$$

Інший спосіб розрахунку втрати тиску на тертя (dP_F/dz) , що відповідає теорії роздільного руху, був розроблений Мартінееллі, Локкартом та іншими, і полягає в тому, що фактична напруга тертя в випадку двофазного потоку подається як добуток ϕ^2 на значення дотичної напруги для відповідного однофазного потоку [6, с. 67], що, по суті, встановлює баланс дотичних напруг і втрат тиску [7, с. 73]. При цьому висувається припущення, що при заданих витратах рідини і газу відомий спосіб визначення градієнтів тиску, які б мали місце при русі по трубі тільки однієї з фаз [7, с. 67]. Це записується у вигляді формули [7, с. 148; 6, с. 67]:

$$-\frac{dP_F}{dz} = \phi_f^2 \left(-\frac{dP_F}{dz}\right)_f = \phi_g^2 \left(-\frac{dP_F}{dz}\right)_g, \tag{15}$$

де $(dP_F/dz)_f$ – ддддд ддддд іа ддддд для рідини, іа/і; $(dP_F/dz)_g$ – ддддд ддддд іа ддддд для газу, іа/і; ϕ_g, ϕ_f – параметри Мартінееллі.

Звідси можемо визначити параметри Мартінееллі ϕ_f і ϕ_g як відношення повної втрати тиску на тертя до водддд ддддд іа ддддд для випадку, коли весь переріз каналу займає газ $(dP_F/dz)_g$ і рідина $(dP_F/dz)_f$ [7, с. 61, 127; 6, с. 359]:

$$\phi_g = \left[\frac{dP_F/dz}{(dP_F/dz)_g} \right]^{0,5}. \tag{16}$$

Співвідношення між параметрами ϕ_f і ϕ_g за моделлю Локкарта–Мартінееллі мають вигляд [2, с. 67]: $1/\phi_f^2 + 1/\phi_g^2 = 1$ для ламінарного руху і $(1/\phi_f)^{8/7} + (1/\phi_g)^{8/7} = 1$ для турбулентного руху.

У цьому випадку водддд ддддд іа ддддд, коли весь переріз каналу займає газ $(dP_F/dz)_g$ і рідина $(dP_F/dz)_f$, визначають з формул (12) і (13), а параметри Мартінееллі ϕ_f і ϕ_g – із графічного співвідношення Локкарта–Мартінееллі [1, с. 61], на якому представлена залежність ϕ_f і ϕ_g від параметра X . Параметр Мартінееллі X як відношення водддд ддддд іа ддддд для випадку, коли весь переріз каналу займає рідина $(dP_F/dz)_f$ і водддд ддддд іа ддддд для випадку, коли весь переріз каналу займає газ $(dP_F/dz)_g$, і показує, в якій мірі поведінка двофазної суміші ближча до рідини, ніж до газу, визначають за формулоу [7, с. 61; 6, с. 69]:

$$X^2 = \frac{(dP_F/dz)_f}{(dP_F/dz)_g}, \tag{17}$$

де X – параметр Мартінееллі.

Визначивши параметр Мартінееллі X із діаграми Локкарта–Мартінееллі, обчислюють ϕ_f або ϕ_g , а потім за формулоу (15) – втрату тиску на тертя dP_F/dz . Однак така методика має деякі недоліки, а саме: графічне подання інформації виключає можливість автоматизації розрахунків; існуюча діаграма Локкарта–Мартінееллі дозволяє оперувати параметрами X тільки в межах 0,01...100. Для усунення даного недоліку можна скористатись кореляційною кривою, яка відповідає співвідношенням Локкарта–Мартінееллі [6, с. 71]:

$$\alpha = (1 + X^{0,8})^{-0,378}. \tag{18}$$

Крім того, розроблена модель роздільного циліндричного руху, в якій робиться припущення, що обидві фази рухаються без взаємодії в двох горизонтальних розділених циліндрах і що сумарний переріз цих циліндрів дорівнює перерізу даної труби. Втрати тиску в кожному з віртуальних циліндрів такі ж, як

і в реальному потоці, і зумовлені тільки тертям, причому їх розраховують за теорією однофазного потоку [6, с. 68]. Співвідношення між параметрами ϕ_f і ϕ_g зазначеної моделі має вигляд:

$$\left(\frac{1}{\phi_f^2}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{1}{\phi_g^2}\right)^{\frac{1}{n}} = 1, \tag{19}$$

де $n = 2$ для ламінарного руху; $n = 2,375 \dots 2,5$ для турбулентного руху при використанні коефіцієнта тертя; $n = 2,5 \dots 3,5$ для турбулентного руху, що розраховується за теорією шляху перемішування.

Перевага моделі роздільного циліндричного руху полягає в тому, що може бути аналітично досліджена до кінця, тоді як модель Локкарта–Мартінееллі обмежена напівемпіричним рішенням [6, с. 68].

Параметри Мартінееллі за моделлю роздільного циліндричного руху визначають за формулами: [6, с. 67–69, 359]:

$$\phi_f^2 \approx \frac{1}{(1-\alpha)^n}; \tag{20}$$

$$\phi_g^2 \approx \frac{1}{\alpha^n}. \tag{21}$$

Вважатимемо, що при незначних витратах рідини її рух буде ламінарним, а отже, $n = 2$, а при великих витратах газу його рух – турбулентний, тому приймемо $n = 2,5$, як це зробили Аа. Оїрідд і І.Оїеє–Оаеєіџ [7, с. 130] і Аредем Оїеєіџ [6, с. 67–69]. Отже, формули (20) і (21) перетворяться відповідно у:

$$\phi_f \approx \frac{1}{1-\alpha}; \tag{22}$$

$$\phi_g^2 \approx \frac{1}{\alpha^{2,5}}. \tag{23}$$

Аредем Уолліс рекомендує визначати ϕ_g за формулою [6, с. 352]:

$$\phi_g^2 = \left[\frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}}\right]^{0,5}. \tag{24}$$

Визначивши параметр Мартінееллі X за формулою (17), розраховуємо відносний об’ємний газовміст α з виразу (18). При великих швидкостях руху повітря параметр Мартінееллі для газу ϕ_g знайдемо із формули (23), а при незначних швидкостях руху води параметр Мартінееллі для рідини ϕ_f – за формулою (22). Після цього визначимо втрату тиску на тертя (dP_F/dz) за методом Локкарта–Мартінееллі за формулою (15).

Метод Локкарта–Мартінееллі, як правило, дає кращі результати для потоків з роздільним рухом фаз (наприклад, кільцевий рух), водночас теорія гомогенного руху прийнятніша для дисперсних систем [6, с. 47–48]. Однак співвідношення Локкарта–Мартінееллі не враховує масові й інерційні сили, тому при великих їх значеннях можливі значні похибки [6, с. 70–73]. Теорія гомогенного руху в усіх випадках забезпечує точніший розрахунок втрат тиску на тертя, ніж співвідношення Локкарта–Мартінееллі. Крім того, метод Локкарта–Мартінееллі дає точніше значення α , порівняно з теорією гомогенного руху [6, с. 390].

Для дослідження кільцевого дбдб повітряно-рідинної суміші в пневмомеханічному обприскувачі за теорією роздільного руху визначимо повну втрату тиску для плівки рідини, що рухається по стінках дозатора-розподільника dP/dz за формулою (15), в якій вбдбдб дбдбдб іа дбдбдб для випадку, коли весь переріз каналу займає рідина (dP_F/dz)_f визначають з формули (13), а ϕ_f^2 – із формули (20). Розрахунки меж між режимами руху рідинно-газової суміші показують, що плівка рідини для вищезазначених параметрів рухається в ламінарному режимі, тому n у формулі (20) дорівнює 2. Тоді вираз для визначення вбдбдб дбдбдб іа дбдбдб (dP_F/dz) для руху рідкої плівки набуде вигляду:

$$-\frac{dP_F}{dz} = 2C_f \frac{\rho_f j_f^2}{d_0(1-\alpha)^2}, \tag{25}$$

де j_f – приведена швидкість рідинної фази, м/с.

Для ламінарного руху коефіцієнт поверхневого тертя C_f визначають з формули (10), в якій число Рейнольдса, що характеризує гідродинаміку потоку і являє собою співвідношення сил інерції до сил в’язкості [5], визначають за формулою [7, с. 148; 2, с. 256; 5] та обчислюють із виразу:

$$Re = \frac{vd_0}{\nu} = \frac{Q\rho d_0}{A\mu} = \frac{Wd_0}{A\mu} = \frac{\rho d_0 j^2}{\mu}. \tag{26}$$

Тоді, з врахуванням виразу (26), формула (25) набуде вигляду:

$$-\frac{dP_F}{dz} = 2 \frac{16\mu_f}{\rho_f d_0 j_f} \cdot \frac{\rho_f j_f^2}{d_0(1-\alpha)^2}. \tag{27}$$

Після скорочень отримаємо:

$$-\frac{dP_f}{dz} = \frac{32\mu_f j_f}{d_0^2(1-\alpha)^2}, \tag{28}$$

де μ_f – äéìì-íà á'ýçéíñòù ðíäéíè, Ìàñ.

Втрату тиску на здолаання гравітаційних сил (dP_f/dz) визначають з формули (9). Для випадку руху тільки рідинної плівки вона набуде вигляду:

$$-\frac{dP_A}{dz} = g\rho_f(1-\alpha) \cdot \sin(\theta). \tag{29}$$

Тоді повна втрата тиску для плівки рідини матиме вигляд:

$$-\frac{dP}{dz} = \frac{32\mu_f j_f}{d_0^2(1-\alpha)^2} + g\rho_f(1-\alpha) \cdot \sin(\theta). \tag{30}$$

Втрату тиску на тертя (dP_f/dz) для газового ядра визначають також з виразу (15), в якому вòðàòý òèñéò ìà òáðòý для випадку, коли весь переріз каналу займає рідина (dP_f/dz)_f визначають з формули (12), а ϕ_g^2 – з формули (24). Розрахунки меж між режимами руху рідинно-газової суміші показують, що плівка рідини для вищезазначених параметрів має турбулентний рух, тому в формулі (24) $n = 2,5$. Тоді вираз для визначення вòðàòý òèñéò ìà òáðòý (dP_f/dz) для газового ядра набуде вигляду:

$$-\frac{dP_f}{dz} = 2C_f \frac{\rho g j_g^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}}. \tag{31}$$

Для турбулентного руху коефіцієнт поверхневого тертя C_f приймають рівним 0,005 [2, с. 45, 390]. Тоді вираз (31) запишеться у вигляді:

$$-\frac{dP_f}{dz} = 0,01 \frac{\rho_g j_g^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}}. \tag{32}$$

Втрата тиску на здолаання гравітаційних сил dP_A/dz визначена з формули (9), для випадку руху тільки газового потоку набуде вигляду:

$$-\frac{dP_A}{dz} = g\rho_g \alpha \cdot \sin(\theta). \tag{33}$$

Тоді повна втрата тиску для газового ядра матиме вигляд:

$$-\frac{dP}{dz} = 0,01 \frac{\rho_g j_g^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}} + g\rho_g \alpha \cdot \sin(\theta) \tag{34}$$

Зрівнянням рівнянь (30) і (34) визначають член, що містить приведену швидкість рідини j_f :

$$\frac{32\mu_f j_f}{d_0^2(1-\alpha)^2} = 0,01 \frac{\rho_g j_g^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}} + g\rho_g \alpha \cdot \sin(\theta) - g\rho_f(1-\alpha) \cdot \sin(\theta). \tag{35}$$

Виразивши в рівнянні (35) приведену швидкість рідини j_f і провівши деякі скорочення, отримаємо:

$$j_f = \frac{d_0^2(1-\alpha)^2}{32\mu_f} \left\{ 0,01 \frac{\rho_g j_g^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}} + g \cdot \sin(\theta) \cdot [\alpha\rho_g - (1-\alpha)\rho_f] \right\}. \tag{36}$$

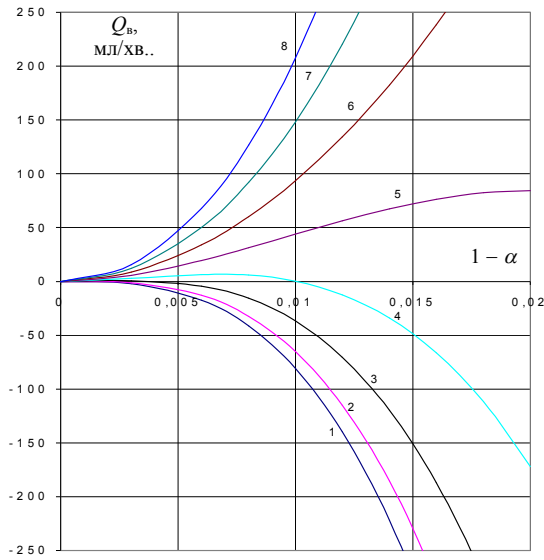
Для повітряно-водної суміші вираз набуде вигляду:

$$j_b = 31,25 \cdot d_0^2(1-\alpha)^2 \left\{ 0,0166 \frac{j_n^2}{d_0} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}} + 9,8 \cdot \sin(\theta) \cdot [1,66\alpha - 1000(1-\alpha)] \right\}. \tag{37}$$

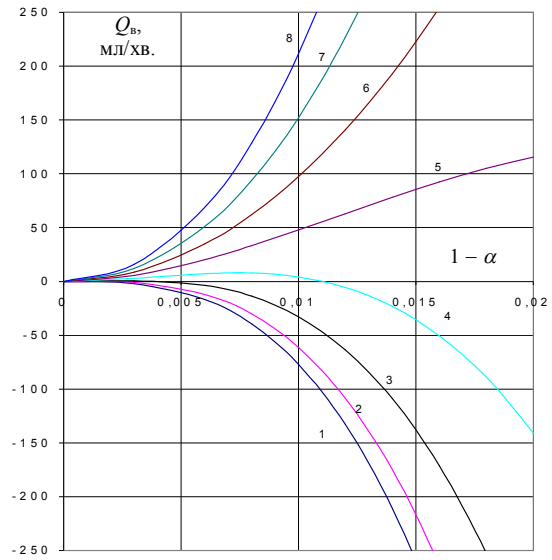
Приведені швидкості j виразимо через витрату Q за формулою $j = Q/A = 4Q/\pi d_0^2 = 1,27Q/d_0^2$ [2, с. 28]. Тоді вираз набуде вигляду:

$$Q_b = 24,6 \cdot d_0^4(1-\alpha)^2 \cdot \left\{ 0,02 \frac{Q_n^2}{d_0^5} \cdot \frac{1+75(1-\alpha)}{\alpha^{2,5}} + 9,8 \sin(\theta) \cdot [1,66\alpha - 1000(1-\alpha)] \right\}. \tag{38}$$

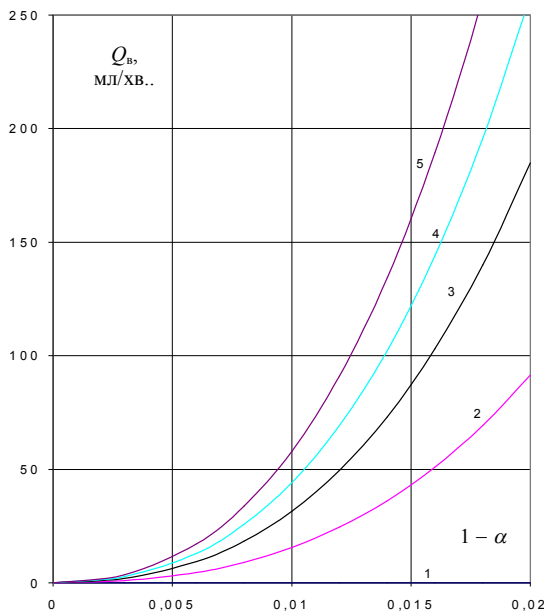
Для оптимізації режимів роботи пневмомеханічного обприскувача проведено теоретичне дослідження режимів його роботи при різних діаметрах дозатора-розподільника, з'єднувальних магістралей, їх кутів нахилу, витрат повітряного потоку. Досліджено труби діаметром $d_0 = 5; 10; 20; 30; 40$ і 50 мм, які можуть застосовуватись в пневмомеханічному обприскувачі (дозатор-розподільник, з'єднувальні магістралі). Вони можуть мати різний кут нахилу θ . У наших дослідженнях будемо оперувати кутами нахилу $\theta = 90^\circ; 45^\circ; 0^\circ; -45^\circ$ і -90° . Крім того, витрати повітря прийнято $Q_n = 0 \dots 1200$ м³/год. Нас цікавить рух плівки робочої рідини (суміші води з пестицидами) з витратою $50 \dots 250$ мл/хв., що потрібно досягти в пневмомеханічному обприскувачі. Можливі витрати води та її напрямок визначено за формулою (38). Результати розрахунків для труби діаметрами 20 і 50 мм представлені на рис. 1–8.



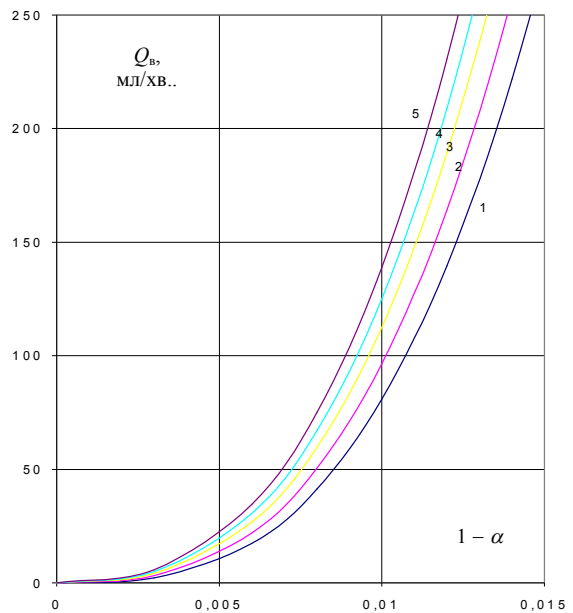
Ρις. 1. Ζαλεξνίη ζ νηραη ροη Q_w βιδ βιδνοηζο νηραηηο οβ'εμνοηο βολογοβίηζο ($1 - \alpha$) πρι δίαμεηρι ηυβυ $d_0 = 50$ μμ, κυί ηι ναηλυ $\theta = 90^\circ$ ι ρίζνιη νηραηαη ροηίηρα Q_n :
 1 - $Q_n = 0 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 2 - $Q_n = 50 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$;
 3 - $Q_n = 100 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 4 - $Q_n = 150 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$;
 5 - $Q_n = 200 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 6 - $Q_n = 250 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$;
 7 - $Q_n = 300 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 8 - $Q_n = 350 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$



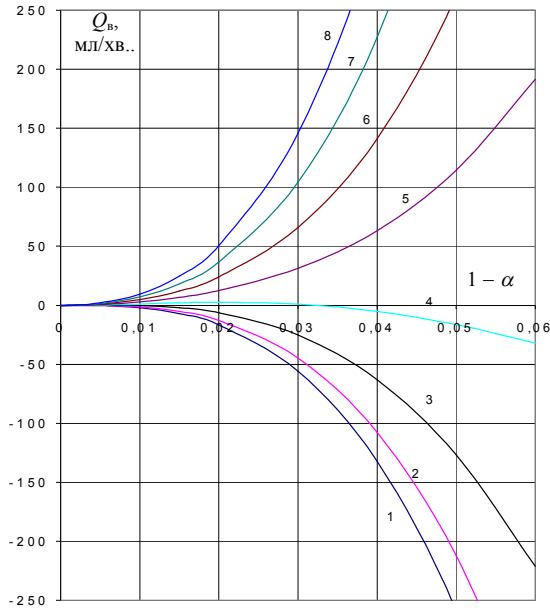
Ρις. 2. Ζαλεξνίη ζ νηραη ροη Q_w βιδ βιδνοηζο νηραηηο οβ'εμνοηο βολογοβίηζο ($1 - \alpha$) πρι δίαμεηρι ηυβυ $d_0 = 50$ μμ, κυί ηι ναηλυ $\theta = 45^\circ$ ι ρίζνιη νηραηαη ροηίηρα Q_n : 1 - $Q_n = 0 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 2 - $Q_n = 50 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 3 - $Q_n = 100 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 4 - $Q_n = 150 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 5 - $Q_n = 200 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 6 - $Q_n = 250 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 7 - $Q_n = 300 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 8 - $Q_n = 350 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$



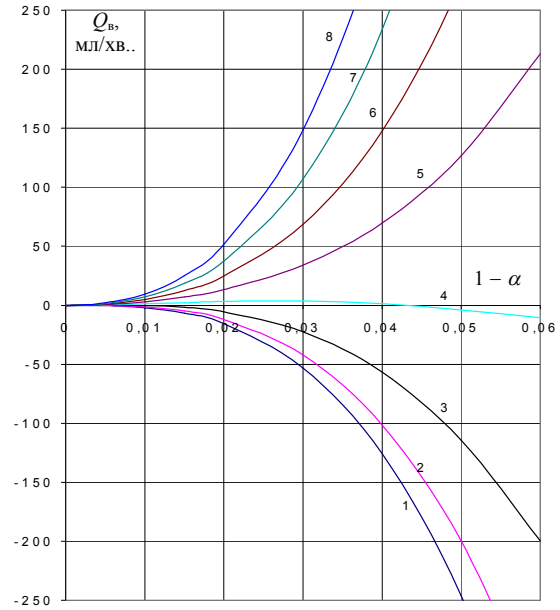
Ρις. 3. Ζαλεξνίη ζ νηραη ροη Q_w βιδ βιδνοηζο νηραηηο οβ'εμνοηο βολογοβίηζο ($1 - \alpha$) πρι δίαμεηρι ηυβυ $d_0 = 50$ μμ, κυί ηι ναηλυ $\theta = 0^\circ$ ι ρίζνιη νηραηαη ροηίηρα Q_n : 1 - $Q_n = 0 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 2 - $Q_n = 50 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 3 - $Q_n = 80 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 4 - $Q_n = 100 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 5 - $Q_n = 120 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$



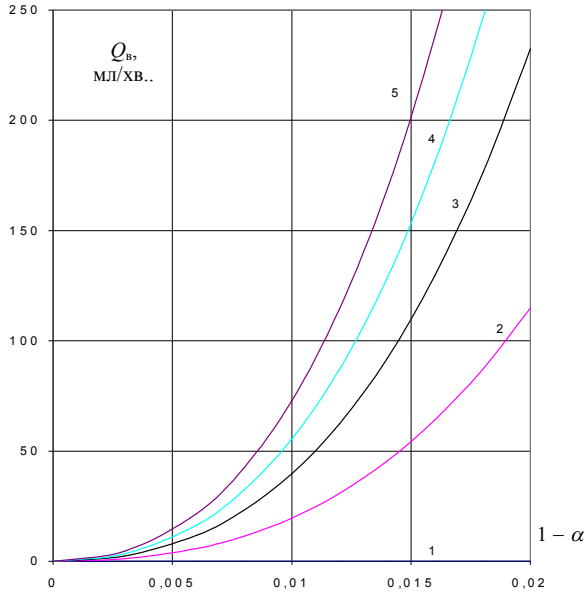
Ρις. 4. Ζαλεξνίη ζ νηραη ροη Q_w βιδ βιδνοηζο νηραηηο οβ'εμνοηο βολογοβίηζο ($1 - \alpha$) πρι δίαμεηρι ηυβυ $d_0 = 50$ μμ, κυί ηι ναηλυ $\theta = -90^\circ$ ι ρίζνιη νηραηαη ροηίηρα Q_n : 1 - $Q_n = 0 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 2 - $Q_n = 50 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 3 - $Q_n = 80 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 4 - $Q_n = 100 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$; 5 - $Q_n = 120 \text{ μ}^3/\text{ζοδ}$



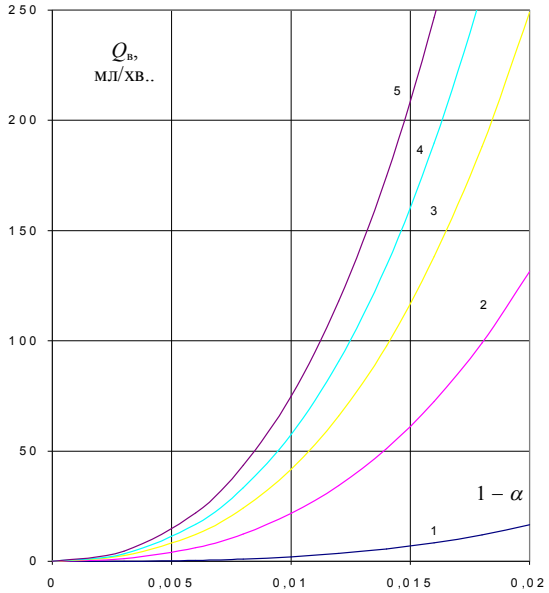
Ρις. 5. Ζαλεξνίςτν βιτραι βυδρ Q_w βιδ βιδνδνςν βιτραινδν οβ'εμνδν βυλδδνβιςτν ($1 - \alpha$) πρι διάνετρη πρυβι $d_0 = 20$ μμ, κυτί ιί ναχιλυ $\theta = 90^\circ$ ι ριζνιχ βιτραιαχ πσυτρη Q_n : 1 - $Q_n = 0$ μ³/ζοδ; 2 - $Q_n = 6$ μ³/ζοδ; 3 - $Q_n = 12$ μ³/ζοδ; 4 - $Q_n = 18$ μ³/ζοδ; 5 - $Q_n = 24$ μ³/ζοδ; 6 - $Q_n = 30$ μ³/ζοδ; 7 - $Q_n = 36$ μ³/ζοδ; 8 - $Q_n = 42$ μ³/ζοδ



Ρις. 6. Ζαλεξνίςτν βιτραι βυδρ Q_w βιδ βιδνδνςν βιτραινδν οβ'εμνδν βυλδδνβιςτν ($1 - \alpha$) πρι διάνετρη πρυβι $d_0 = 20$ μμ, κυτί ιί ναχιλυ $\theta = 45^\circ$ ι ριζνιχ βιτραιαχ πσυτρη Q_n : 1 - $Q_n = 0$ μ³/ζοδ; 2 - $Q_n = 6$ μ³/ζοδ; 3 - $Q_n = 12$ μ³/ζοδ; 4 - $Q_n = 18$ μ³/ζοδ; 5 - $Q_n = 24$ μ³/ζοδ; 6 - $Q_n = 30$ μ³/ζοδ; 7 - $Q_n = 36$ μ³/ζοδ; 8 - $Q_n = 42$ μ³/ζοδ



Ρις. 7. Ζαλεξνίςτν βιτραι βυδρ Q_w βιδ βιδνδνςν βιτραινδν οβ'εμνδν βυλδδνβιςτν ($1 - \alpha$) πρι διάνετρη πρυβι $d_0 = 20$ μμ, κυτί ιί ναχιλυ $\theta = 0^\circ$ ι ριζνιχ βιτραιαχ πσυτρη Q_n : 1 - $Q_n = 0$ μ³/ζοδ; 2 - $Q_n = 50$ μ³/ζοδ; 3 - $Q_n = 80$ μ³/ζοδ; 4 - $Q_n = 100$ μ³/ζοδ; 5 - $Q_n = 120$ μ³/ζοδ



Ρις. 8. Ζαλεξνίςτν βιτραι βυδρ Q_w βιδ βιδνδνςν βιτραινδν οβ'εμνδν βυλδδνβιςτν ($1 - \alpha$) πρι διάνετρη πρυβι $d_0 = 20$ μμ, κυτί ιί ναχιλυ $\theta = -90^\circ$ ι ριζνιχ βιτραιαχ πσυτρη Q_n : 1 - $Q_n = 0$ μ³/ζοδ; 2 - $Q_n = 50$ μ³/ζοδ; 3 - $Q_n = 80$ μ³/ζοδ; 4 - $Q_n = 100$ μ³/ζοδ; 5 - $Q_n = 120$ μ³/ζοδ

Ιζ ρεζυλταιβ ροζαρυνκιδν μδδνα ζροβιτν ταικιδ βιςνδνβι:

1. Διυ βερτικαινιχ ι πδχιλιχ πρυβι γραινιχι βιτραιαχ πσυτρη, πρι αιχ βιδβυαετρη "πδνδρδτ πδδνυ"

$Q_{п.р.1}$ зі збільшенням діаметра труби та кута її нахилу зростає, тобто для підйому однакової кількості робочої рідини в трубах з більшим нахилом необхідні більші витрати повітря. Тому зі збільшенням діаметра труби для забезпечення висхідного руху робочої рідини необхідно підвищувати витрати повітря.

2. Для забезпечення однакових витрат води в вертикальних і похилих трубах зі зростанням діаметра труби необхідно збільшувати витрати повітря, при цьому величина відносного об'ємного витратного вологовмісту $(1 - \alpha)$ скорочується, а отже, зменшується і товщина плівки рідини. Крім того, зі збільшенням кута нахилу труби зростає і величина $(1 - \alpha)$, а отже і товщина водної плівки при рівних значеннях витрат повітря та діаметра труби.

3. Для кожної витрати робочої рідини існують певні граничні витрати повітря $Q_{п.р.2}$, які можуть забезпечити саме задані витрати робочої рідини, тобто витрати повітря, нижчі за $Q_{п.р.2}$, не в змозі забезпечити задані витрати робочої рідини. Зі збільшенням діаметра труби та кута її нахилу в вертикальних і похилих трубах $Q_{п.р.2}$ зростає.

4. Для горизонтальних і похилих труб для забезпечення однакових витрат робочої рідини зі зростанням діаметра труби необхідно збільшувати витрати повітря, при цьому відносний витратний об'ємний вологовміст $(1 - \alpha)$ зменшується, тобто плівка рідини тоншає.

5. Для горизонтальних та похилих труб при нисхідному русі робочої рідини та при її русі по горизонтальних трубах, для забезпечення однакових витрат робочої рідини зі зростанням діаметра труби, як і при висхідному русі, необхідно збільшувати витрати повітря, хоча вони, порівняно з висхідним рухом, значно менші. Відносний витратний об'ємний вологовміст, а отже, і товщина плівки робочої рідини при зростанні діаметра труби зменшуються.

Таким чином, на виникнення та збільшення пульсацій робочої рідини при висхідному її русі в складі повітряно-рідинної суміші в дозаторі-розподільнику пневмомеханічного обприскувача впливає:

- збільшення діаметра труби дозатора-розподільника;
- зростання кута нахилу труби дозатора-розподільника.

Для забезпечення стабільного кільцевого безпульсаційного руху заданого об'єму рідини в рідинно-повітряному потоці необхідно, по можливості, зменшувати діаметр дозатора-розподільника. Зменшувати кут нахилу дозатора-розподільника не можна (крім -90°), оскільки рух рідинно-повітряної суміші ставатиме кільцевим з ознаками розшарованого і виникатиме нерівномірність розподілення робочої рідини по площі. Допускається встановлення дозатора-розподільника з кутом нахилу 90° і -90° .

У горизонтальних і похилих трубах при нисхідному русі рідини пульсацій через виникнення кільцево-снарядного руху принципово бути не може.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Барановський О.С. Технічний рівень обприскувачів та ефективність використання пестицидів // Техніка АПК. – 1998. – № 2. – С. 10–11.
2. Ааеаіеа ааеаіеа ааеаіеа / А.А. Іаіааа, Г.Э. Одишария, О.В. Клапчук и др. – І.: Іаааа, 1978. – 270 с.
3. *Едаһуеіаа Е.Р.* Іаеіідіаа дадаеодаедедее ааеаіеу ааооааіе іаіае аідеііаеііе оооаа // Аооіае оаоіе-аіеіе дедее. – 1952. – Т. XXII. – Вій. 4.
4. Стельмах В.М., Масло І.П., Барановський О.С. Дослідження пневмомеханічного розпилювача рідини // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науково-технічний збірник. – Випуск 77. – К.: Урожай, 1993. – С. 11–14.
5. *Оаіаіаеіі Р.І., Аідііа А.А.* Іаіау даі-ааа е еііеаіаіеу теаі-ііо ііоаііа. – Е.: Оаоіеа, 1975. – 252 с.
6. *Оіеєі Арэхэм Б.* Іаііадіаа ааооааіуа да-аіеу: Пер. с англ. к.т.н. В.С. Данилишина и Ю.А. Зейгарника; Под ред. проф. И.Т. Аладьева. – І.: Іед, 1972. – 440 с.
7. *Ойрєоо Аа., Оіеє-Оаеіі І.* Еіеуааіуа ааооааіуа да-аіеу: Пер. с англ. В.Я. Сидорова. – І.: Ўіадаеу, 1974. – 405 с.

ПОЛЩУК Віктор Миколайович – молодший науковий співробітник ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” УААН.

Наукові інтереси:

– механізація захисту рослин.

Подано 12.09.2000