

Hydrotunnel installation for spraying potato plantations with a jet pump

V. Arendarenko | O. Ivanov✉ | M. Shpylka | K. Simonov

Article info

Correspondence Author

O. Ivanov

E-mail:

olegivanov@yahoo.com

Poltava State Agrarian

University,

1/3, Skovorody str.,

Poltava, 36003,

Ukraine

Citation: Goryk, O., Brykun, O., Ivanov, O., Koval'chuk, S., & Muravlov, V. (2024). Automated system of shot blasting processing of free surfaces of metal products. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 211–216. doi: 10.31210/spi2024.27.01.36

In agriculture, rod sprayers are used to control the Colorado potato beetle in potato fields. Most serial sprayers do not provide treatment with the working liquid of the lower leaves of the potato bushes, and part of this substance flows out of the bush and falls on the ground. Such treatment increases the pesticide load on the soil and the environment. To eliminate this shortcoming, a tunnel-type hydraulic installation is proposed. Spraying of potatoes in such an installation takes place in the tunnel with the help of centrifugal sprayers, and jet pumps are used to pump out the liquid flowing from the trays. This installation ensures accurate dosing of the chemical preparation, uniform distribution of the preparation over the entire surface of the bush. Wastewater is also collected and used for re-spraying, which reduces the pesticide load on the soil. Based on the equation of the fluid balance in the hydraulic nodes of the hydraulic system of the hydrotunnel installation and the pressure balance for the isolated hydraulic branch of the installation, theoretical studies were performed with the method of calculating the necessary hydrodynamic pressure on the sprinklers and determining the parameters of the pipe equipment elements. On the basis of theoretical transformations, it was established that the speed of pumping the working fluid from the trays depends on the product of the ratio of the diameter of the supply tube to the diameter of the nozzle of the jet pump and the initial speed of the working fluid. At the same time, this dependence has a hyperbolic dependence and has an increasing character in the entire range of variation of diametrical dimensions. It was also established by calculation that the initial speed of movement of the working fluid has a determining effect on the formation of the intensity of the fluid supply from the nozzles. Thus, increasing the initial speed from 1 m/s to 2 m/s with a ratio of diameters at the level of six makes it possible to increase the feed speed from 36 to 72 m/s. It was additionally theoretically proven that the increase in the vacuum level in the chamber of the jet pump is directly proportional to the ratio of diameters at the inlet and outlet of the nozzle.

Keywords: installation, potato, colorado beetle, spraying, nozzle, pump, pesticide, liquid.

Гідротунельна установка для обприскування насаджень картоплі зі струминним насосом

V. M. Arendarenko | O. M. Ivanov | M. M. Shpylka | K. V. Simonov

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава,
Україна

У сільському господарстві для боротьби із колорадським жуком на картопляних полях використовують штангові обприскувачі. Більшість серійних обприскувачів не забезпечують обробіток нижніх листочків кущів картоплі робочою рідиною, а деяка частина цієї речовини, стікаючи із куща, потрапляє на ґрунт. За таких умов обробітку збільшується пестицидне навантаження як на ґрунт, так і на довкілля. Для усунення цього недоліку пропонуємо розглянути гідравлічну установку тунельного типу. Обприскування насаджень картоплі в такій установці відбувається у тунелі з використанням відцентрових розпилювачів, а для відкачки стікаючої рідини із лотків струминні насоси. Така установка забезпечує точне дозування хімічного препарату, рівномірне його розподілення по всій листовій поверхні куща, збір стікаючої речовини і направлення її на повторне обприскування, що призводить до зменшення пестицидного навантаження на ґрунт. Грунтуючись на рівнянні балансу рідини в гідравлічних вузлах гідравлічної системи гідротунельної установки та балансу тиску для виокремленої гідравлічної гілки установки, було виконано теоретичні дослідження з наведенням методики розрахунку необхідного гідродинамічного тиску на розпилювачах та визначено параметри елементів трубного обладнання. На підставі теоретичних перетворень з'ясували, що швидкість відкачування робочої рідини із лотків залежить від добутку відношення діаметра підвідної трубки до діаметра сопла струминного насоса та початкової швидкості робочої рідини. До того ж така залежність має гіперболічну залежність і має зростаючий характер в усьому діапазоні варіювання діаметральних розмірів. Також за допомогою розрахункового способу було встановлено, що початкова швидкість руху робочої рідини має визначальний вплив на формування інтенсивності подачі рідини зі сопел. Так, збільшення початкової швидкості з 1 м/с до 2 м/с при співвідношенні діаметрів на рівні шести дозволяє збільшити швидкість подачі з 36 до 72 м/с. Додатково теоретично доведено, що підвищення рівня вакууму в камері струминного насоса перебуває у прямопропорційній залежності від співвідношення діаметрів на вході та виході із сопла.

Ключові слова: установка, картопля, колорадський жук, обприскування, насадка, насос, пестицид, рідина.

Бібліографічний опис для цитування: Arendarenko V. M., Ivanov O. M., Shpylka M. M., Simonov K. V. Гідротунельна установка для обприскування насаджень картоплі зі струминним насосом. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (1). С. 211–216.

Вступ

Основним шкідником картоплі є колорадський жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) [1, 2]. На території України цей шкідник з'явився на початку

50-х років XX століття і завдає господарствам, котрі вирощують картоплю, значних грошових збитків. Шкодочинність жука проявляється у зниженні врожайності картоплі на 50 % і більше, зменшенні розміру бульб, вмісту крохмалю та білка [3–10].

Основними методами боротьби із цим шкідником натеper є хімічний захист, який вважається найбільш ефективним і економічно доцільним, але водночас створює багато проблем, пов'язаних із прямим і опосередкованим негативним впливом на довкілля. До того ж тривале використання хімічних препаратів призводить до зниження їхньої ефективності внаслідок появи у шкідника резистентних популяцій [7, 8, 10].

Протягом усього вегетаційного періоду картопляні поля багаторазово обробляють хімікатами. Для цього за допомогою обприскувачів інсектициди наносять на кущі картоплі. Таке обприскування передбачає розпилення робочої рідини у просторі і транспортуванні дрібних (дисперсних) крапель повітряним потоком на об'єкти обробки. Під час обробки насаджень картоплі робоча рідина потрапляє не тільки на кущі картоплі, а й на ґрунт і до навколишнього повітряного середовища. За такої обробки робоча рідина може стікати з кущів картоплі на ґрунт, це призводить до часткової втрати недешевого хімічного розчину та збільшення хімічного навантаження на ґрунт. Накопичення залишкової кількості деяких отруйних хімікатів та їх похідних у ґрунті, овочах, фруктах, м'ясі, молоці і багатьох інших продуктах рослинного і тваринного походження не тільки негативно впливають на корисну фауну, але і небезпечні для теплокровних тварин і людей.

Для усунення цього недоліку в роботі [11] пропонуємо на серійних обприскувачах встановлювати розпилювачі двосторонньої дії, це дасть можливість проводити обприскування рослин як згори, так і знизу.

Для покращення проникної здатності препаратів у крони кущів картоплі використовують інжекторні розпилювачі серії ID/IDK. Вони мають спектр розпилення крапель від середніх і великих – до дуже великих. Наприклад, середній об'ємний діаметр крапель складає 200 мкм. З їх допомогою можна обприскувати рослини при швидкості вітру до 5 м/с та знизити дрейф крапель до 90 % відносно референтного плоско-струминного розпилювача [12, 13]. Ці розпилювачі забезпечують рівномірний розпил робочої рідини, але великі краплі все-таки стікають на ґрунт.

Для підвищення якості покриття листової маси кущів картоплі дуже тонкою плівкою робочої рідини та зменшення її втрат штангові обприскувачі оснащуються турбопінними розпилювачами [11]. Недоліком обприскувачів з такими розпилювачами є

те, що досить тривалий час відбувається розкладання отруйних речовин, які знаходяться у робочій рідині.

На вітчизняних обприскувачах останнім часом встановлюють монодисперсні щілинні розпилювачі [11, 14, 15]. Основною відмінністю цих розпилювачів від звичайного щілинного – це наявність демпферного об'єму за каліброваним отвором. При використанні таких розпилювачів ефективність використання робочої рідини доходить до 75 %. Такі розпилювачі можна використовувати на великих площах, а на невеликих і середніх використання їх недоцільне.

Для отримання екологічно чистої продукції вчені пропонують пневматичні методи збирання та знищення колорадського жука на посівах картоплі. Збирання шкідників за допомогою цих пристроїв відбувається шляхом всмоктування повітряним потоком у насадки з подальшим транспортуванням їх у ємності для збирання [16–21].

Проаналізувавши наявні машини для знищення колорадського жука, з'ясували, що машини для обприскування насаджень картоплі не у змозі зменшити пестицидне навантаження на ґрунт, а пневматичні машини не набули широкого використання, а отже, машини для обприскування картопляних насаджень потребують додаткового розвитку і вдосконалення.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка гідравлічної установки тунельного типу, за допомогою якої можна обприскувати насадження картоплі в закритому об'ємі, з можливістю збору стікаючої робочої рідини з рослин та її повторного використання, у такий спосіб зменшуючи потрапляння на ґрунт.

Завдання дослідження. Розробити принципову схему гідравлічної установки тунельного типу з використанням струминного насоса для відкачки зібраної робочої рідини, яка стікає із крони кущів картоплі, створюючи замкнутий цикл розпилювання.

Матеріали і методи

Застосовуючи абстрактно логічний метод, ми розробили функціональну схему гідравлічної установки для обприскування кущів картоплі в тунелі. На [рисунку 1](#) наведена схема цієї установки.

Принципова схема гідравлічної установки тунельного типу представлена на [рисунку 2](#). Установка обладнана баком для зберігання робочої рідини, з якої за допомогою насоса вона під тиском подається до основних розпилюючих форсунок, які розміщуються в тунельній камері. Камера установки являє собою П – подібну тунель довжиною L. Висота робочої камери H, а її довжина $(L = (3 - 4) \cdot H)$. Тунель складається із правої і лівої бокових і верхньої пластин, вони виготовлені із пластмасових листів. На установку такого типу ми отримали патент на корисну модель України [22].

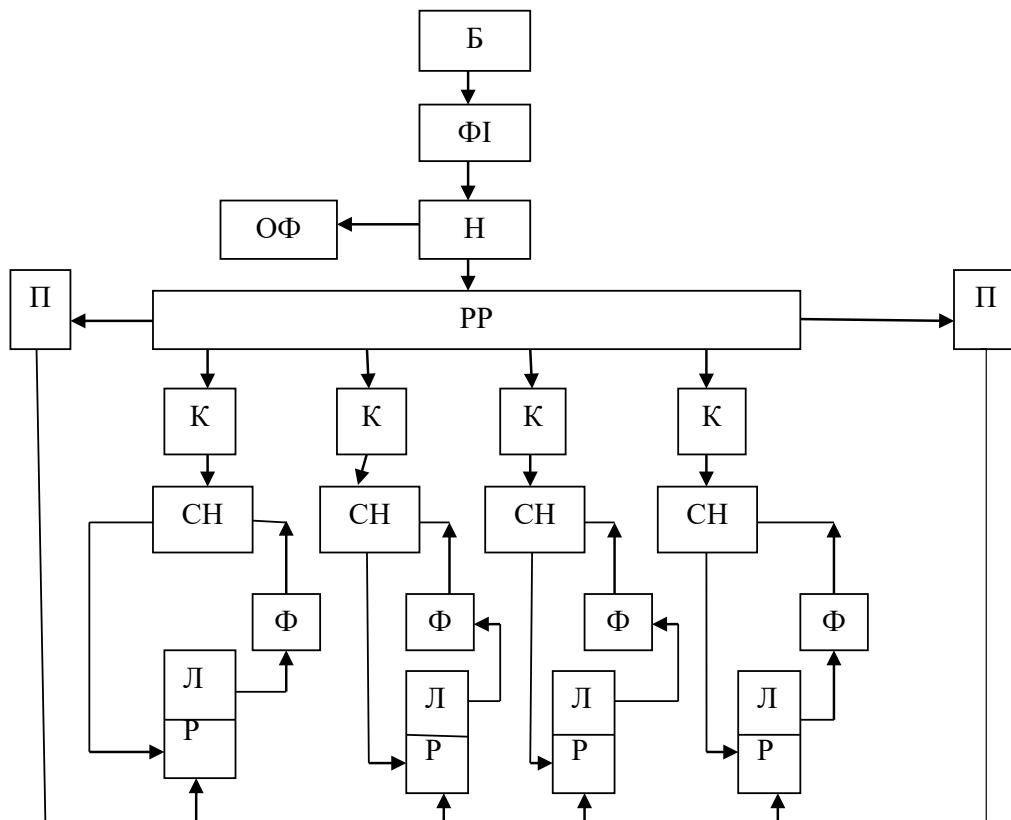


Рис. 1. Функціональна схема гідравлічної установки тунельного типу

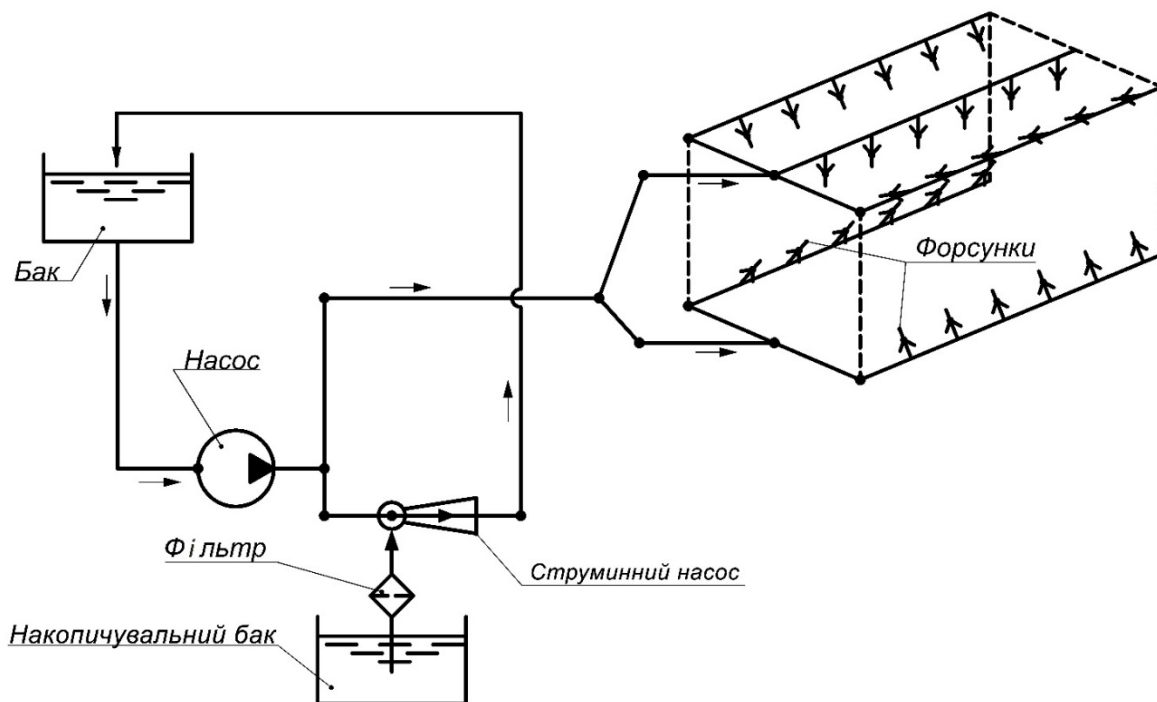


Рис. 2. Принципова схема гідравлічної установки тунельного типу

На правій боковій пластині розміщені основні розпилюючі форсунки (ОФ). На лівій боковій пластині знизу під невеликим кутом до горизонту знаходиться лоток (Л), призначений для збирання стікаючої із оброблених кущів робочої рідини. Лоток оснащений фільтром (ФІ). На верхній пластині

установки встановлені додаткові розпилювальні форсунки відцентрового типу, які з'єднані зі струминним насосом (СН). Струменеві насоси одним зі своїх патрубків з'єднані трубопроводом із лотками установки. Іншим кінцем цей насос з'єднується із розподільником рідини (РР), у якому підтримується

високий тиск рідини, яка рухається до розпилювальних форсунок. На розподільвачі знаходяться клапанні механізми (К), керування якими відбувається завдяки спеціальній програмі. До складу установки входять два пульсатори (П). Вони призначені для подачі на розпилювальні форсунки стиснутої та пульсуючої робочої рідини.

Кількість розпилювальних форсунок і місця їх розміщення в камері повинно відповідати ефективному процесу обприскування [16] всієї крони куща картоплі. Розпилювальні форсунки розміщують на металевій підвісці з можливістю регулювання кута їх нахилу.

Установлені струменеві насоси подають із лотків установки стікаючу робочу рідину на верхні розпилювальні форсунки. Струминний насос складається із сопла 1, вакуумної камери 2, відсмоктувальної трубки 3 з фільтром 6, дифузора 4, ежекторної трубки 5 (рис. 3).

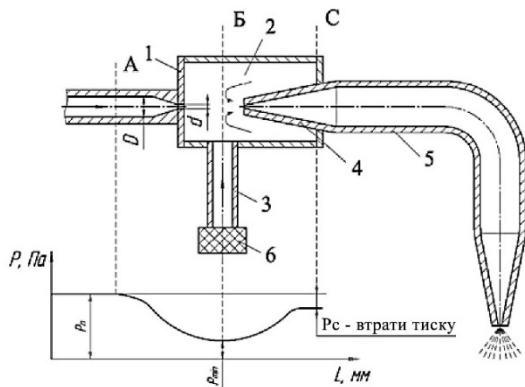


Рис. 3. Струминний насос і розподілення статичного тиску по його довжині

Працює насос таким чином: потік робочої рідини, який під великим тиском надходить із розподільника, проходить через сопло 1, збільшує свою швидкість (v_c) і, відповідно, кінетичну енергію. Збільшення динамічного (швидкісного) напору призводить до зменшення п'єзометричного (статистичного) напору, внаслідок чого в камері 2 утворюється понижений тиск. Утворений імпульс від робочої рідини, що знаходиться в більш рухливому стані, передається рідині, яка знаходиться в лотках, при цьому відбувається відкачувальна дія.

Ефективність використання такої установки значною мірою залежить від чіткої взаємодії всіх її складників, які різноманітні як за своїм призначенню, так і за принципом роботи. До того ж основною задачею, яку необхідно розв'язати при проектуванні гідравлічної установки, є забезпечення необхідного тиску вприскування робочої рідини основними розпилювальними форсунками на крони кущів картоплі.

Розв'язання поставленої задачі зводиться до розкладання гідравлічної установки на окремі частини, які складаються з окремих трубопроводів, які мають один вхідний отвір і декілька (однією) гілок, та складання для них системи рівнянь. Ці рівняння встановлюють функціональні зв'язки між параметрами, які характеризують потік рідини

у трубах, тобто між розмірами труб, витратою рідини і напором.

Результати та їх обговорення

Для забезпечення необхідного гідродинамічного тиску розпилювання необхідно визначити величину необхідного тиску, який буде створювати насос установки. Для цього скористаємось такими рівняннями:

- рівнянням балансу витрати рідини у вузлах окремих трубопроводів:

$$Q_{\text{виз}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n, \quad (1)$$

де $Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$ – витрата робочої рідини в окремих трубопроводах установки.

- рівнянням балансу тиску (з рівняння Бернуллі) для кожної гілки установки [23]:

$$p_y + \frac{\rho}{2} v_y^2 + \rho g z_y = p_{\text{вих}} + \frac{\rho}{2} v_{\text{вих}}^2 + \rho g z_{\text{вих}} + p_w, \quad (2)$$

де $p_y, p_{\text{вих}}$ – відповідно п'єзометричний тиск на вході і виході з окремої гілки; $z_y, z_{\text{вих}}$ – висота вузла і вихідної точки гілки відносно загальної площини зрівняння; p_w – втрати тиску на гідравлічний опір у гілці; $v_y, v_{\text{вих}}$ – швидкість витікання робочої рідини із вузла і вихідної точки гілки.

Значення гідравлічних втрат характеризується функціональною залежністю від витрати робочої рідини $p_w = f(Q)$:

$$p_w = \Delta p_{\text{тер}} + \Delta p_{\text{міс}} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum_{i=1}^n \zeta_i \right) \cdot \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 d^4}, \quad (3)$$

де $\Delta p_{\text{тер}} = \lambda \frac{8lpQ^2}{\pi^2 d^5}$ – втрати тиску на тертя рідини об стінки трубопроводів; $\Delta p_{\text{міс}} = \lambda \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 d^4} \sum_{i=1}^n \zeta_i$ – втрати тиску на місцеві опори у гілці (клапани, повороти, фільтри та інше).

Послідовне розв'язання задачі з визначення величини тиску і витрати робочої рідини для складників окремих трубопроводів установки дасть можливість визначити необхідний тиск і витрату для гідравлічної установки загалом.

Установка складається із головної магістралі, яка забезпечує подачу робочої рідини до горизонтальних розпилювальних форсунок, які знаходяться на лівій пластині і допоміжній магістралі. Допоміжна магістраль установки призначена для відкачки стікаючої робочої рідини із лотків. У допоміжній магістралі знаходиться чотири струминних насоси. Для вибору струминних насосів скористаємось рівнянням збереження масової витрати робочої рідини на вході і виході із сопла:

$$\rho v_n \pi \frac{D^2}{4} = \rho v_c \pi \frac{d^2}{4}, \quad (4)$$

де v_n, v_c – відповідно, початкова швидкість робочої рідини у всмоктувальній трубці і на виході із сопла, ρ – густина робочої рідини, D – діаметр підвідної трубки, d – діаметр сопла.

Швидкість робочої рідини на виході із сопла струминного насосу визначається із формули 4:

$$v_c = v_n \left(\frac{D}{d} \right)^2. \quad (5)$$

На основі формули 4 був побудований графік зміни швидкості робочої рідини на виході із сопла струминного насоса залежно від співвідношення діаметра підвідної трубки до

діаметра сопла (рис. 4). Форма емпіричних графіків свідчить про підвищення швидкості робочої рідини на виході із сопла насоса у разі збільшення співвідношення D/d і збільшення ϑ_n .

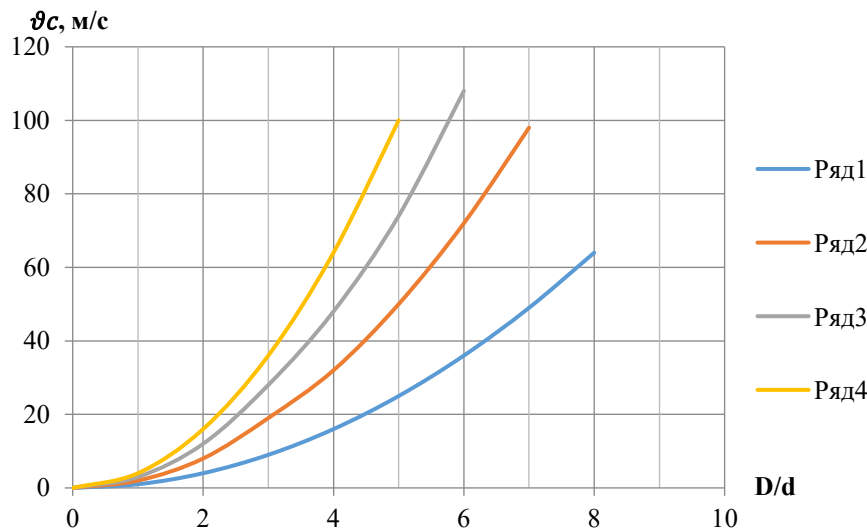


Рис. 4. Графіки зміни швидкості робочої рідини на виході із сопла струминного насоса залежно від співвідношення діаметрів на вході (D) і виході (d) із сопла при різних значеннях початкової швидкості і при $D = \text{const}$, $d \neq \text{const}$ (ряд 1 – $\vartheta_n = 1$ м/с; ряд 2 – $\vartheta_n = 2$ м/с; ряд 3 – $\vartheta_n = 3$ м/с; ряд 4 – $\vartheta_n = 4$ м/с).

Із рис. 3 видно, що потік робочої рідини в розрізі А струминного насоса починає звужуватися, внаслідок чого середня швидкість потоку збільшується. У результаті інерції струмінь рідини продовжує звужуватися і на певній відстані від сопла має найбільше звуження. Такому звуженню відповідає переріз Б, він збігається із віссю відсмоктувальної трубки насоса. Зменшення швидкості на ділянці АБ супроводжується зменшенням статичного тиску від початкового значення P_n до мінімального P_{\min} .

Використовуючи відоме рівняння Бернуллі [23] для перерізу А і перерізу на виході із сопла, маємо:

$$P_1 + \rho \frac{\vartheta_n^2}{2} = P_2 + \rho \frac{\vartheta_c^2}{2}, \quad (6)$$

де P_1 , P_2 – відповідно, тиск робочої рідини у розрізі А і на виході із сопла.

Після перетворень рівняння 6 отримуємо:

$$P_2 = P_1 + 0,5\rho(\vartheta_n^2 - \vartheta_c^2). \quad (7)$$

Після підстановки і введення відносного діаметра $\beta = d / D$ маємо:

$$P_2 = P_1 + 0,5\rho\vartheta_n^2(1 - \frac{1}{\beta^4}). \quad (8)$$

На основі наведених залежностей можна визначити тип і режими роботи насоса високого тиску і струминних насосів гідравлічної установки тунельного типу.

Висновки

Для зменшення пестицидного навантаження на довкілля і ґрунт при обприскуванні насаджень картоплі необхідно використовувати гідравлічну установку тунельного типу із замкнутим циклом

циркуляції робочої рідини. Відкачку стікаючої рідини в лотки установки найкраще виконувати за допомогою струминних насосів, які не мають рухомих частин, що найліпше впливає на надійність і ефективність роботи всієї установки.

Виявлено, що на швидкість відкачування робочої рідини із лотків впливає відношення діаметра підвідної трубки до діаметра сопла струминного насоса. До того ж таке співвідношення коливається від 1 до 8 і збільшення його призводить до підвищення швидкості робочої рідини на виході із сопла насоса, а значить і підвищенню вакууму в камері насоса. Підвищення вакууму сприяє кращому відсмоктуванню робочої рідини із лотків установки.

Запропонований метод розрахунку гідравлічних багатотрубних конструкцій дає можливість обрати ефективне трубне обладнання гідравлічної установки тунельного типу. Таке обладнання за цією методикою забезпечить необхідні гідравлічні характеристики запропонованої установки.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Novoselska, T., & Korol, T. (2001). Koloradskiy zhuk. *Zakhyst Roslyn*, 1, 14–15. [in Ukrainian]
2. Znamenskiy, O. (2003). Protiv koloradskoho zhuka. *Zakhyst Roslyn*, 4, 16–17. [in Ukrainian]
3. Cingel, A., Savić, J., Lazarević, J., Čosić, T., Raspor, M., Smigocki, A., & Ninković, S. (2016). Extraordinary adaptive plasticity of colorado potato beetle: “Ten-Striped Spearman” in the era of biotechnological warfare. *International Journal of Molecular Sciences*, 17 (9), 1538. <https://doi.org/10.3390/ijms17091538>

4. Znamenskyi, O. (2013). Proty koloradskoho zhuka. Pryntsypy zastovuvannya khimichnykh zasobiv dlia znyzhennia shkodo chynnosti fitofaha. *Zakhyst Roslyn*, 4, 16–17. [in Ukrainian]
5. Patyka, V., & Patyka, T. (2002). ak zakhystytys vid koloradskoho zhuka. *Zakhyst Roslyn*, 9, 7–8. [in Ukrainian]
6. Boiko, Y. (2012). Sezonna dynamika shkidlyvosti koloradskoho zhuka (*Leptinotarsa Desemlineata* Sau) v Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Lvivskoho Derzhavnoho Universytetu: Ahrokhimiia*, 16, 401–406. [in Ukrainian]
7. Molotskyi, M., Pohorilyi, S., & Fedoruk, Y. (2004). Tekhnolohiia vyroshchuvannya kartopli u fermerskykh ta selianskykh hospodarstvakh. *Visnyk Bilotserkivskoho Derzhavnoho Ahrarnoho Universytetu*, 30, 93–102. [in Ukrainian]
8. Sapin, V. (1975). *Koloradskiy zhuk ta zakhody borotby z nym*. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian]
9. Pustova, O. H. (Red.). (2023). Kartopliarstvo stratehichna haluz silskoho hospodarstva: veb-sait. Retrieved from: <https://calameo.com/read/0024381284115d73c1313> [in Ukrainian]
10. Sablon, L., Dickens, J., Haubruge, É., & Verheggen, F. (2012). Chemical ecology of the colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), and potential for alternative control methods. *Insects*, 4 (1), 31–54. <https://doi.org/10.3390/insects4010031>
11. Arendarenko, V. (2012). *Vykorystannia tekhnichnykh zasobiv pry zbyranni ta znyshchenni koloradskoho zhuka: monohrafiia*. Poltava: PP Shcherbatiukh O.V. [in Ukrainian]
12. Koval, V., & Melezhyk, O. (2005). Vidtsentroyvi rozpyliuvach. *Karantyn i Zakhyst Roslyn*, 3, 28–29. [in Ukrainian]
13. Koval, V., & Melezhyk, O. (2009). Maloobiemne obpryskuvannia. *Karantyn i Zakhyst Roslyn*, 7, 17–20. [in Ukrainian]
14. Aliverdi, A., & Zarei. M. (2020). Forward angled spray: a method for improving the efficacy of herbicides. (2023). *Journal of Plant Protection Research*, 60 (3), 275–283. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133952>
15. Pastushenko, A. (2021). Modeliuvannia aerodynamichno ratsionalnogo rozpyliuvalnogo prystroiu. *Silskohospodarski Mashyny*, 46, 94–102. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.485> [in Ukrainian]
16. Arendarenko, V., Kharak, R., & Slynko, O. (2008). Efektyvnist roboty mekhanichnogo prystroiu dlia zbyrannia ta znyshchennia koloradskoho zhuka. *Visnyk Lvivskoho Derzhavnoho Ahrarnoho Universytetu: Ahroinzhenerni Doslidzhennia*, 1, 276–279. [in Ukrainian]
17. Gutsol, T., & Bendera, I. (2006). Grounding the parameters of pneumatic device for pests collecting. *Proceedings of 5 th International Scientific Conference* (pp. 34–36). Jelgava: Latvia University of Agriculture
18. Onopa, V., & Artemenko, D. (2022). Results of experimental studies pneumatic harvesting of pests agricultural crops. national interagency scientific and technical collection of works. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 52, 32–40. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.32-40>
19. Vincent, C., & Boiteau, G. (2001). Pneumatic Control of agricultural insect pests. *Physical Control Methods in Plant Protection*, 270–281. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04584-8_19
20. Onopa, V., Artemenko, D., & Bakal, R. (2018). Theoretical substantiation of the zone action of the device for the solanaceae pest culture collection. *ScienceRise*, 10 (51), 19–23. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.145369>
21. Hutsol, T. D., Bendera, I. M., Humeniuk, O. O., & Lazarchuk, S. S. (2005). Patent № 8746 UA. *Pneumatic device for catching harmful insects*. Retrieved from: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/285975/>
22. Arendarenko, V. M., Prasolov, Ye. Y., Slynko, O. P., Kharak, R. M., Brazhenko, S. A., Znova, L. V., Shepel, V. A., Gladkiy S. A., Bagmet, A. A., & Shvets, D. A. (2008). Patent № 36003 UA. *Unit ASZH-1 for gathering and extermination of beetle*. Retrieved from: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/318603/>
23. Zakon Bernulli. *Vikipediia, vilna entsyklopediia*. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Бернуллі [in Ukrainian]

ORCID

- V. Arendarenko  <https://orcid.org/0000-0003-0701-7983>
 O. Ivanov  <https://orcid.org/0000-0002-1761-9913>
 M. Shpylka  <https://orcid.org/0000-0002-1425-6715>
 K. Simonov  <https://orcid.org/0000-0001-8985-5803>



© 2024 Arendarenko V. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.