Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, 51-55
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.051-055

УДК 631.348

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ШТАНГОВОГО ОБПРИСКУВАЧА З МЕТОЮ ЗБІЛЬШЕННЯ ЙОГО ПРОДУКТИВНОСТІ

А. В. Бабій

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: Ababiy@ukr.net.

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.
Бібл. 11, рис. 3, табл. 0.

Анотація. В даній роботі виконано аналіз параметрів штангового обприскувача, які безпосередньо впливають на його технологічну продуктивність. Для розрахункової ширини захвату штанги наведено залежність, яка дозволяє визначити нерівномірність обприскування за шириною захвату штанги з врахуванням висоти від розпилюючого пристрою до об'єкту обробки, кута факелів розпилу робочої рідини та кратності їх перекриттів. При дослідженні робочої швидкості агрегату введені критерії, які регламентують її максимальне значення, звідки визначаються такі параметри як, наприклад, оптимальний об'єм бака для робочої рідини, допустима вага обприскувача. Також виконано аналіз складових коефіцієнта використання часу роботи агрегату та показано їх взаємозв'язок з конструктивними та технологічними параметрами обприскувача.

Ключові слова: енергозасіб, штанговий обприскувач, продуктивність, ширина захвату, розпилювач, штанга обприскувача, робоча швидкість.

Постановка проблеми

Застосування передових технологій у виробництві сільськогосподарської продукції рослинництва ніяким чином на може обійтися без хімічного захисту. В переважній більшості цю технологічну операцію забезпечують штанговими обприскувачами. Масове застосування даних машин вказує на їх високу технологічну ефективність, але паралельно з цим і зростають до них вимоги. При придбанні технологічної машини кожен виробник будь-якої продукції має бажання придбати технологічно ефективну машину з високою продуктивністю та технічно надійну.

По відношенні до причіпних штангових обприскувачів ці параметри дуже тісно пов'язані між собою. Якщо вирішувати задачу підвищення продуктивності такого агрегату, то збільшення, наприклад, ширини захвату його робочого органу дозволить за один і той же час обробляти більшу площу. Відповідно цей показник зросте. Те саме можна говорити і про збільшення робочої швидкості обприскувача.

Все це можна реалізувати на практиці, але існує ряд обмежень, які утруднюють дану задачу. Якщо мова йде про збільшення ширини захвату штанги, то виникає ряд нових проблем: складність маневрування, підвищення маси, виникнення збільшених динамічних сил та амплітуди коливань і як наслідок погіршення якості виконання технологічного процесу обприскування. При підвищенні робочої швидкості агрегату також збільшуються динамічні сили на елементи конструкції обприскувача, виникає необхідність у застосування баків більших об'ємів, збільшення потужності двигуна приводу агрегату і т.д. Крім того, високі швидкості породжують вихрові потоки, що зносять дрібнодисперсні частинки від поверхні оброблюваних рослин. Тому актуальним залишається проведення досліджень в цьому спрямуванні.

Аналіз останніх досліджень

Хоч сільськогосподарські обприскувачі є дуже поширеними машинами, розрахунки їх основних складових, особливо каркасів штанг, практично відсутні в літературних джерелах. Оцінку несучої здатності і довговічності рамних конструкції обприскувачів розвинув у свої працях професор Рибак Т.І. [1, 2] та учні його наукової школи. Роботи, що стосуються динамічних розрахунків штангових обприскувачів висвітлені в працях Барановського О.С. [3], Віковича І.А. [4, 5], Дівеєва Б.М. [5], Дричика С.Т. [6], Масло І.П.[7] , Озолса Я.Г. [8] та ін.

В кожній з наведених праць вирішується локальна задача, що направлена на вдосконалення конструкції обприскувача чи покращення виконання ним технологічного процесу. Але мало уваги приділено критеріям, які лежать в основі вибору робочої ширини захвату штанги обприскувача та його робочої швидкості руху.

Мета досліджень

В роботі поставлено мету – виконати аналіз параметрів штангового обприскувача, які безпосередньо

впливають на його технологічну продуктивність, та запропонувати шляхи її збільшення.

Результати досліджень

В основі проектування будь-якої мобільної сільськогосподарської машини чи агрегату головним критерієм оптимальності є продуктивність. Абсолютно точно цю аналогію можна застосувати для штангових обприскувачів. Для виконання порівняльного аналізу вибрано причіпний штанговий обприскувач. Продуктивність (га/год) для такої машини визначається загальновідомою залежністю [9]:

$$W = 0{,}36 B_p v_p \tau_ч \,, \qquad (1)$$

де B_p – робоча ширина захвату штанги обприскувача, м; v_p – робоча швидкість агрегату, м/с; $\tau_ч$ – коефіцієнт використання часу при роботі обприскувача.

Аналізуючи залежність (1), бачимо, що продуктивність залежить від всіх наведених складових. Виконаємо аналіз кожної з них.

Робоча ширина захвату обприскувача B_p визначається шириною штанги в розгорнутому вигляді. Сучасні конструкції обприскувачів мають штанги шириною розгортки приблизно від 12 до 46 м [10]. Зрозуміло, що при решту рівних умов, збільшуючи ширину захвату штанги, збільшується і продуктивність агрегату. Основна вимога до даного конструктивного елементу обприскувача – копіювати рельєф поля з метою забезпечення норми внесення робочого препарату на одиницю площі оброблюваного об'єкту. За таких умов рівномірність внесення робочого препарату за шириною захвату штанги також буде забезпечуватися.

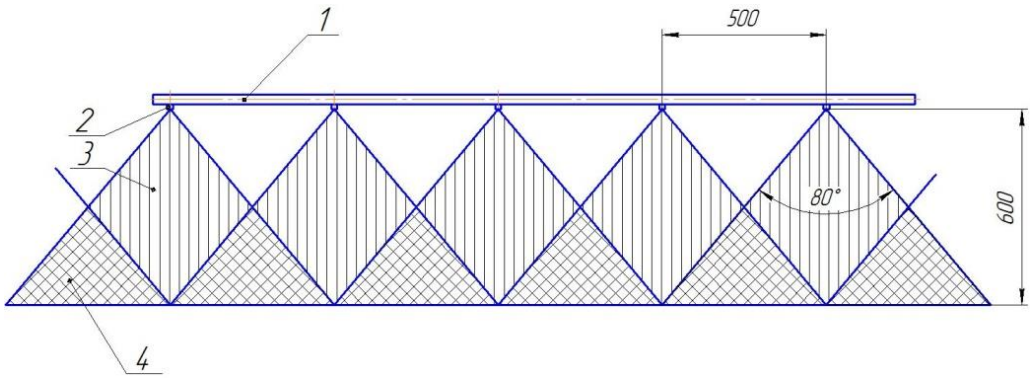
Зв'язок ширини захвату штанги B_p з нормою витрати робочого препарату Q можна представити у вигляді залежності:

$$B_p = \frac{q}{0{,}006 v_p Q}, \qquad (2)$$

де q – хвилинна витрата через всі розпилювачі на штанзі, л/хв;Q – задана норма внесення робочого препарату, л/га.

Звідси випливає, що ширина захвату штанги прямо пропорційна хвилинній витраті через розпилювачі q та обернено пропорційна робочій швидкості агрегату v_p. Тут хвилинна витрата через розпилювачі q або хвилинна витрата через один розпилювач q' ($q' = q/z$, де z – кількість розпилювачів на штанзі) залежить від конструкції розпилюючого пристрою, площі його вихідного отвору, тиску в напірній магістралі тощо. Хвилинну витрату можна «зв'язати» із заданою нормою внесення Q робочого препарату на га, тобто пропускна спроможність розпилюючих пристрої за одиницю часу повинна відповідати заданій нормі внесення. А це означає, що ці складові взаємно виключають одна одну і (q, Q) впливу на продуктивність агрегату не чинять.

З іншого боку, робоча ширина штанги визначається через розрахункову ширину B_{pp}, яка дозволяє визначити нерівномірність обприскування за шириною захвату штанги з врахуванням висоти від розпилюючого пристрою до об'єкту обробки H, кута факела розпилу робочої рідини α та кратності перекриттів факелів розпилу $k_п$, рис. 1.



а)

б)

Рис. 1. До визначення розрахункової ширини штанги обприскувача

а – розрахункова схема: 1 – фрагмент штанги обприскувача; 2 – розпилюючий пристрій; 3 – факел розпилу робочої рідини без перекриття; 4 – частина факелу розпилу з подвійним перекриттям;

б – світлини фізичних факелів розпилу робочої рідини на обприскувачах з LED-підсвіткою штанги

Fig. 1. Before finding calculated boom width of sparyer

a – calculation scheme: 1 – part of sprayer boom; 2 – spraying device; 3 – nozzle of work liquid spraying without overlap; 4 – a part of nozzle of work liquid spraying with double overlap;b – photos of real nozzles of work liquid on sprayers with LED boom backlight

$$B_{pp} = b(n-1) - 2H\left[tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right]\left[1 - 2k_{п}^{-1}\right], \quad (3)$$

b – відстань між розпилювачами, м; n – кількість розпилювачів на штанзі; H – відстань від розпилюючого пристрою до об'єкту обробки, м; α – кут розпилу робочої рідини, град; $k_{п}$ – кратність перекриттів факелів розпилу.

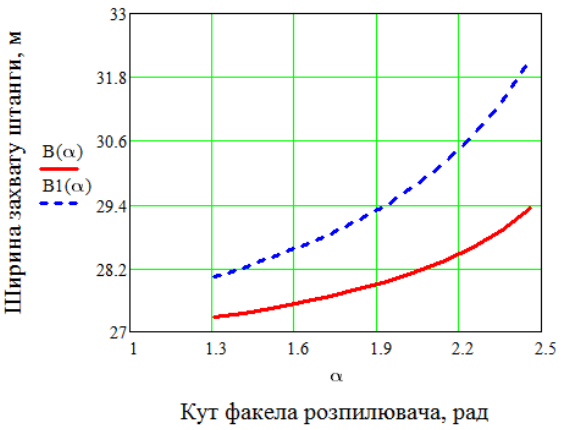


Рис. 2. Графічні залежності зміни ширини захвату штанги від кута факела розпилювача та відстані до об'єкту обробки.

Fig. 2. Graphic equations of boom work width changing of sprayer nozzle angle and distance to the object.

Як видно з рис. 2, що ширина захвату штанги значно залежить від типу розпилюючого наконечника, тобто кута факелу розпилу ним робочої рідини та ще в більшій мірі від відстані від розпилювачів до об'єкту обробки. Приклад наведено для двадцятисемиметрової штанги обприскувача (рис. 2), де кут розпилу розпилювачів варіювався від 75^0 до 145^0: суцільна лінія відповідає відстані до об'єкту обробки 0,5 м, пунктирна – 1 м. На рис. 3 показано як відрізняється ширина захвату штанги при встановленні її на відстані 0,5 м та 1 м від об'єкту обробки. Наприклад, для розпилювачів з кутом розпилу робочої рідини 110^0 ця різниця сягає 1,43 м.

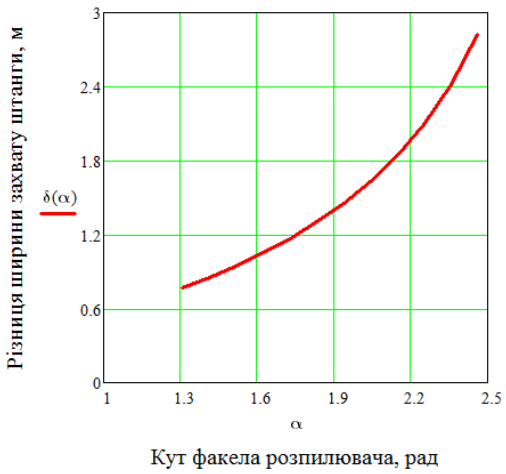


Рис. 3. Графічна залежність різниці зміни ширини захвату штанги при висоті її встановлення 0,5 м та 1 м над об'єктом обробки.

Fig. 3. Graphic equation of changing work width of boom difference with height installation 0,5 m and 1 m above processing object.

Крім того, ширина захвату штанги пов'язана з маневреністю машини, збільшенням ваги та виникаючими при цьому динамічними перевантаженнями, міцністю такої конструкції та ресурсом її роботи тощо. На даний час важко відшукати теоретичні доведення, в основі яких лежать такі функціональні залежності. Тому на практиці конструктивно виконують ширину штанги по аналогії до вже відомих або приймають її відповідно до заданих Технічних умов. Тоді дослідний зразок (за готовими геометричними розмірами) аналізують аналітично та перевіряють, виконуючи експериментальні дослідження. Виявлені недоліки усувають зміною (підбором) геометричних чи фізичних параметрів окремих найбільш слабких елементів. На даний час описана проблема є неповністю вирішеною і потребує додаткових аналітичних розробок.

Продовжуючи аналіз залежності продуктивності (1), розглядаємо робочу швидкість агрегату v_p. Її можна представити у вигляді функції багатьох аргументів:

$$v_p = f(N, Д, Т, \dots), \quad (4)$$

де N – потужність двигуна енергозасобу на оптимальному режимі; Д – параметр, що обмежує максимальну швидкість за критерієм виникнення допустимих напружень в елементах конструкції обприскувача при дії динамічних сил; Т – технологічний параметр для обмеження робочої швидкості агрегату.

Максимально допустима швидкість за параметром Т обмежена:

– продуктивністю насосної установки обприскувача для забезпечення заданої норми виливу робочого препарату;

– утворенням вихрових потоків позаду штанги, що зносять дрібнодисперсні частинки робочого препарату від об'єкту обробки;

– властивостями речовин бакової суміші тощо.

Якщо параметри Д, Т досить важно ввести в конкретні функціональні залежності для визначення робочої швидкості руху агрегату, їх можна використовувати як обмеження максимально допустимої швидкості (за умови проведення локальних незв'язаних між собою досліджень), то $v_p = f(N)$ піддається раціональному аналізу [11]. Отже, потужність двигуна енергозасобу на оптимальному режимі:

$$N = N_{н}\eta_{м}z - N_{б} - N_{\Delta v}, \quad (5)$$

де $N_{н}$ – номінальна потужність двигуна, Вт; $\eta_{м}$ – механічний ККД трансмісії енергозасобу; z – коефіцієнт оптимального завантаження двигуна; $N_{б}$ – потужність, що затрачається на буксування енергозасобу, Вт; $N_{\Delta v}$ – потужність, що затрачається на пришвидшення енергозасобу, Вт.

Тоді:

$$N = \left(f_{е}G_{е}\eta_{м}^{-1} + f_{o}\left(G_{ро} + G_{б}\right)\eta_{мо}^{-1}\right)v_p + N_{ВВП}\eta_{ВВП}^{-1}, \quad (6)$$

тут $f_{е}$, f_{o} – коефіцієнти опору перекочуванню енергозасоба та обприскувача; $G_{е}$ – вага енергозасоба, Н; $G_{ро}$ – вага рами обприскувача з навісним обладнанням, Н; $G_{б}$ – вага вмісту бака обприскувача, Н; $N_{ВВП}$ – потужність, що затрачається приводом ВВП для роботи насосної установки обприскувача, Вт; $\eta_{ВВП}$ – ККД приводу ВВП.

Враховуючи (5) і (6), отримаємо залежність для визначення швидкості агрегату:

$$v_p = \frac{N_н \eta_м z - N_б - N_{\Delta v} - N_{ВВП} \eta_{ВВП}^{-1}}{f_е G_е \eta_м^{-1} + f_o (G_{ро} + G_б) \eta_{мо}^{-1}}. \quad (7)$$

Таким чином, встановлено залежність другої складової продуктивності (1) – робочу швидкість агрегату від потужності двигуна енергозасобу $v_p = f(N)$, тобто його здатності транспортувати робочу машину. Тут ватро зауважити, що параметри Д і Т функції швидкості (4) мають обмежувальний характер. Робоча швидкість не може перевищувати деякого значення в залежності від вказаних параметрів $N, Д, Т, \dots$, виходячи з того, який критерій буде задоволений першим.

Перейдемо до аналізу третьої складової продуктивності (1) – коефіцієнта використання часу при роботі обприскувача $\tau_ч$. Свій аналіз вибудуємо на припущені, що обприскувач працює на одному полі, довжина гону якого складає l. Тут не будемо використовувати питомих показників використання часу зміни: часу переміщення обприскувача до поля та місця стоянки; часу на переїзди з однієї площі на іншу в межах часу зміни; часу на ТО, відпочинок, обід тощо; часу на заправку енергозасобу, організацію переїздів агрегату тощо.

Отже, коефіцієнт використання часу при роботі обприскувача $\tau_ч$:

$$\tau_ч = t_г / \left(t_г + t_з + t_х + t_{тр} + 2t_{\Delta v}\right), \quad (8)$$

де $t_г$ – час проведення обприскування площі за довжиною одного гону, с:

$$t_г = l / v_p; \quad (9)$$

де $t_з$ – час заправки бака обприскувача віднесений до площі обробки довжиною одного гону, с

$$t_з = \frac{Q_г}{q_н} = \frac{B_p l Q}{10^4 q_н}, \quad (10)$$

де $Q_г$ – кількість робочого препарату, що виливається на площу довжиною одного гону, кг(л); $q_н$ – продуктивність насосної установки обприскувача при самозаправці (заправка іншими пристроями), кг(л)/с; $t_х$ – час, що затрачається на холості повороти, с; $t_{тр}$ – питомі затрати часу на транспортування робочої рідини до обприскувача, що віднесені до обробки одного гону, с:

$$t_{тр} = \frac{LQ'}{v_p G_б}, \quad (11)$$

де Q' – кількість кг(л) робочого препарату, що виливається на 1 га; L – відстань від пункту заправки обприскувача (машини заправника) до оброблюваної площі, м; $2t_{\Delta v}$ – час руху обприскувача зі змінною швидкістю, с.

Висновки

1. При визначенні робочої ширини захвату обприскувача основними критеріями є: маневреність машини, збільшення коливань штанги, що погіршує технологічний процес обприскування, виникнення динамічних сил в каркасах секцій штанг, які впливають на ресурс їх роботи та збільшення ваги машини в цілому.

2. При аналізі робочої швидкості агрегату, було розглянуто основні параметри, від яких вона залежить. Першим і безумовним параметром є потужність двигуна енергозасобу, який агрегатує обприскувач. Приймається оптимальний режим роботи двигуна і за розвинутою потужністю вираховується максимально допустима вага агрегатованої технологічної машини на заданій робочій швидкості. Тоді, виходячи з цього, визначається максимальний об'єм бака обприскувача, причому максимальна вага обприскувача є обмеженою допустимим питомим тиском опорних чи опорно-приводних коліс на ґрунт. Якщо вага обприскувача лежить в допустимих межах (за питомим тиском на ґрунт), а потужність двигуна є достатньою, то робочу швидкість збільшують до межі дії наступного критерію. Наприклад, таким критерієм може бути виникнення допустимих напружень в елементах конструкції обприскувача при дії динамічних сил, що впливають на міцність та довговічність конструкції.

3. Крім того, технологічний параметр для обмеження робочої швидкості агрегату також є актуальним, наприклад, продуктивність насосної установки обприскувача для забезпечення заданої норми виливу робочого препарату є незадовільною; утворюються вихрові потоки позаду штанги, що зносять дрібнодисперсні частинки робочого препарату від об'єкту обробки; якщо за властивостями речовин бакової суміші не допускається високої швидкості їх виходу з розпилюючого наконечника тощо.

4. Таким чином, вибирається така робоча швидкість, яка б задовольняла всі поставлені обмеження. Подальший розвиток наведеного аналізу параметрів обприскувача знаходиться в площині побудови оптимізаційної задачі, де після задоволення всіх обмежень вибирається оптимальний параметр.

5. Ті самі міркування стосуються і коефіцієнта використання часу при роботі обприскувача.

Список літератури

1. *Рибак Т. І.* Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Тернопіль: ВАТ "ТВПК "Збруч", 2003. 332 с.

2. *Рибак Т., Бабій А., Попович П., Ріпецький Є.* Пошукове конструювання на сучасному розвитку експериментальних засобів та аналітичних досягнень – концептуальна триєдина модель. Вісник ТНТУ. 2011. Спецвипуск, частина 2. С. 164–172.

3. *Барановський О. С.* Технічний рівень обприскувачів ринку України та заходи по підвищенню ефективності, використанню пестицидів на сучасному етапі. Сільськогосподарська техніка України. 1998. № 4. С. 7–9.

4. *Вікович І. А.* Штангові обприскувачі для хімічного захисту рослин. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003. 480 с.

5. *Вікович І. А., Дівеєв Б. М.* Математична модель нанесення краплин рідини на рослини обприскувачами. Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". 2000. №394. С. 6–11.

6. *Дричик С. Т.* Исследование динамики штангового рабочего органа опрыскивателя. Динамика и прочность сельскохозяйственных машин. 1986. С. 81–88.

7. *Масло І. П., Тимошенко С. П., Онуфрієнко Ю. Ф.* Механізація захисту рослин. Київ: Урожай, 1982. 145 с.

8. *Озолс Я. Г.* Анализ факторов, влияющих на качество работы штанговых опрыскивателей. Елгава:

Исследование динамики штанговых опрыскивателей: Труды ЛСХА. 1987. Вып. 239. С. 18–33.

9. *Пастухов В. І., Чигрин А. Г.* Довідник з машиновикористання в землеробстві: навч. посіб. для студ. Харків: "Веста", 2001. 343 с.

10. *Шимко С.* Правильний обприскувач – запорука надійного захисту рослин. Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу : URL: https://propozitsiya.com/ua/pravilniy-obpriskuvach-zaporuka-nadiynogo-zahistu-roslin .

11. *Кутьков Г. М.* Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. Москва: Колос, 2004. 504 с.

References

1. *Rybak T.* (2003). Search designing on base of resource optimization of mobile agricultural machinery. Ternopil: OAU “TVPK “Zbruch””, 332.

2. *Rybak T., Babiy A., Popovych P., Ripetskiy Y.* (2011). Research designing on modern development of experimental devices and analytical achievements – conceptual triune model. Visnyk TNTU. Special edition, part 2. 164–172.

3. *Baranovskiy O.* (1998). Technical level of sprayer at Ukrainian market and methods of efficiency increasing, pesticides using on modern stage. Agricultural machinery of Ukraine. N4. 7–9.

4. *Vikovych I.* (2003). Boom sprayers for plants chemical protection. Lviv: Published by NU “Lviv Politechnics*”*, 480.

5. *Vikovych I., Diveyev B.* (2000). Mathematical model liquid drops applying on plants by sprayers. Visnyk of State University “Lviv Politechnics*”.* N394. 6–11.

6. *Drychyk S.* (1986). Dynamics research of work device of boom sprayer. Dynamics and toughness of agricultural machinery. 81–88.

7. *Maslo I., Tymoshenko S., Onuphriyenko Y.* (1982). Crops protection mechanisation. Kyiv: *Urozhay*, 145.

8. *Ozols Y.* (1987). Analysis of factors which effect on work quality of boom sprayers. Elgava: Dynamics research of boom sprayers: Works of LSHA. Edition 239, 18–33.

9. *Pastuhov V., Chygryn A.* (2001). Reference book of machinery using in agriculture: educational book for students. Kharkiv: “Vesta”. 343.

10. *Shymko S.* (2019). Right sprayer - reliable crops protection guaranty. Offer – Main magazine of agricultural business questions : URL: https://propozitsiya.com/ua/pravilniy-obpriskuvach-zaporuka-nadiynogo-zahistu-roslin.

11. *Kut’kov G.* (2004). Tractors and automobiles. Theory and technological qualities. Moscow: *Kolos,* 504.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ШТАНГОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЕ ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

А. В. Бабий

Аннотация. В данной работе выполнен анализ параметров штангового опрыскивателя, которые непосредственно влияют на его технологическую производительность. Для расчетной ширины штанги приведена зависимость, которая позволяет определить неравномерность опрыскивания за шириной захвата штанги с учетом высоты от распылительного устройства к объекту обработки, угла факелов распыления рабочей жидкости и кратности их перекрытий. При исследовании рабочей скорости агрегата введены критерии, которые регламентируют ее максимальное значение, откуда определяются такие параметры как, например, оптимальный объем бака для рабочей жидкости, допустимый вес опрыскивателя. Также выполнен анализ составляющих коэффициента использования времени работы агрегата и показана их взаимосвязь с конструктивными и технологическими параметрами опрыскивателя.

Ключевые слова: энергосредство, штанговый опрыскиватель, производительность, ширина захвата, распылитель, штанга опрыскивателя, рабочая скорость.

PARAMETERS ANALYSIS OF BOOM SPRAYER FOR PURPOSE OF INCREASING ITS PRODUCTIVITY

A. V. Babii

Abstract. In current work it is made the analysis of parameters of boom sprayer, it directly influences on its technological productivity. The shown equation helps to find out the calculated spray width of boom and allows to find spraying unsteadiness using spray width of boom considering distance between spraying device and processing object, nozzle angle of work liquid spraying and the number of overlaps. Criteria of maximum number were entered while researching sprayer work speed, here we could find such parameters as, for example, optimal tank volume for work liquid, permissible sprayer weight. It’s also made the analysis of coefficient components of time using of sprayer work and correlation with constructive and technological sprayer parameters is shown.

Key words: energy tool, boom sprayer, productivity, work width, nozzle (spraying device), sprayer boom, work speed.

А. В. Бабій ORCID 0000-0001-6198-0100.