

Constructive solutions are suggested in classical construction of cutting pair of segmental finger cutting apparatus for increasing efficiency of plant capture in vacillation angle of cutting pair by providing the minimum critical angle of jamming.

Geometric parameters of cutting pair of segmental finger apparatus were assayed. They influence on reliability of straw capture while cutting. One of constructive solutions is given which is directed on decreasing of vacillation angle of cutting pair and provides small critical angle of plants jamming. Received effect allows to capture plants reliably even when cutting element blade is blunt.

Angles of jamming of cutting pair which are got have diapason from 60° to 13° . It means that one straw while moving along the blade of segment and anti-cutting plate will find its position when angle of jamming is critical and blade sharpness is variable. Angle of jamming can be 13° when straw leaves vacillation of cutting pair and it's 2 times less of recommended critical angle of jamming – 22° . To consider it plant will hold out two times reliably in cutting pair even when blades are blunt then in typical construction of cutting pair.

segmental finger cutting apparatus, angle of jamming, cutting pair, knife (blade) step, segment, anti-cutting plate

Одержано 05.11.17

УДК 681.513

О.О. Броварець, доц., канд. техн. наук

Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м.Київ, Україна

E-mail: brovaretsnau@ukr.net

Математична модель граничної бистродії виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь

Для забезпечення належної ефективності сільськогосподарського виробництва виникає необхідність забезпечення якості виконання технологічних операцій на основі даних оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Технічні системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість отримати оперативні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища та забезпечити належну якість виконання технологічних операцій на основі отриманих даних. Виконавчі робочі органи таких систем повинні забезпечити належну якість виконання технологічної операції за рахунок швидкодії виконавчих робочих органів, обумовлену механіко-конструктивними параметрами сільськогосподарських машин, які виконують технологічну операцій.

Така модель дозволяє забезпечити раціональне внесення технологічного матеріалу з врахування агробіологічного стану ґрунтового середовища при цьому можливо забезпечити приріст фактичної врожайності сільськогосподарських культур на рівні 20%.

оптимальне керування, гранична бистродія, норма внесення, технологічний матеріал

А.А. Броварець, доц., канд. техн. наук

Київський кооперативний інститут бізнесу і права, г.Київ, Україна

Математическая модель предельного быстродействия исполнительных рабочих органов технической системы оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий

© О.О. Броварець, 2017

Для обеспечения надлежащей эффективности сельскохозяйственного производства возникает необходимость обеспечения их качества выполнения технологических операций на основе данных оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. Технические системы оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий дают возможность получить оперативные данные об агробиологическом состоянии грунтовой среды и обеспечить надлежащие качества выполнения технологических операций на основе полученных данных. Исполнительные рабочие органы таких систем должны обеспечить надлежащие качества выполнения технологической операции за счет быстрого действия исполнительных рабочих органов, обусловленную механико-конструктивными параметрами сельскохозяйственных машин, которые выполняют технологическую операций.

оптимальное управление, предельная бистродії, норма внесення, технологический материал

Постановка проблеми. Технічні системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість забезпечити належну якість керування виконанням технологічних операцій з використанням сучасних інформаційно-технічних мехатронних та робототехнічних систем керування, пов'язаних з датчиками контролю якості виконання технологічних операцій, які у сучасному контексті їх розвитку отримали назву «розумних» або «сма́рт» машин (Smart machinery) [1-10].

Такі «розумні» машини з датчиками оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь можуть широко використовуватися на всіх стадіях виробництва сільськогосподарської продукції рослинництва: основного обробітку, сівби (садіння), на етапі догляду за посівами у період вегетації та при збиранні врожаю. Це дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій при оптимізації витрат на їх виробництво. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану грунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан грунтового середовища.

Слід відмітити, що важливість та доцільність використання технічних системи залежить від виду технологічної операції, площі обробітку. Так доцільність використання зазначених машинно-тракторних агрегатів особливо висока на етапі сівби (садіння), оскільки дана технологічна операція фактично є «фундаментом» майбутнього врожаю. Проте, при застосуванні даних агрегатів виникає необхідність у розробці математичної моделі їх граничної бистродії, яка враховує положення датчиків, відстань від їх розміщення до виконавчих робочих органів, сервоприводів. Така модель дасть можливість на основі даних про тип датчиків, принцип їх роботи сформулювати вимоги до виконавчих робочих органів (сервоприводів) керування якістю виконання технологічної операції, які дадуть можливість виконати зазначений алгоритм.

Аналіз досліджень і публікацій показує, що традиційні фактори підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва за рахунок оптимізації механіко-конструктивних матеріалів, використання новітніх машинобудівних матеріалів (надміцного пластику, сплавів металу тощо) на сучасному етапі розвитку техніки, не дають суттєвого підвищення ефективності.

За межами типової системи інформаційного забезпечення процесів планування залишаються задачі, пов'язані з вибором оптимальних рішень, оцінки альтернативних варіантів розвитку і т. д.

У більшості сільськогосподарських підприємств, що використовують для автоматизації функцій планування системи операційного управління (розроблених на основі як типових, так і індивідуальних проектів) не можуть уникнути головного недоліку даного типу інформаційних систем: зміщення акцентів у бік поточного планування [4].

Така ситуація виникає через об'єктивні причини, пов'язані з використанням обчислювальних процесів в контексті опису поточного розвитку системи в рамках

одного виробничого циклу [1]. При такому підході практично відсутнє середовище автоматизації процесів довгострокового і середньострокового планування, а методика планування, що реалізовується, не дозволяє інтегрувати в інформаційну систему методи ефективного коректування відхилень з метою виходу на плановий рівень, що базуються на використанні оптимізаційних математичних моделей.

Одним з перспективних напрямів є забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів за рахунок одержання більш високого (у порівнянні з фізіологічними можливостями людини) рівня інформації та оперативного керування робочими процесами машин і на основі цього перехід до нових прогресивних технологій з використанням «розумних» сільськогосподарських машин. Тому виникає необхідність їх розробки та використання.

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь [1, 2, 3].

Постановка завдання. Метою статті є побудова математичної моделі граничної бистродії виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, що дасть можливість сформулювати вимоги до виконавчих робочих органів (сервоприводів) технічної системи на основі інформації про механіко-конструктивні параметри датчиків та відстані до них.

Виклад основного змісту дослідження. Визначимо одну важливу проблему технічних систем оперативного моніторингу при оптимальному керуванні агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь – це задача про граничну бистродію виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

При зменшенні відстані між робочими електродами (датчиками) технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь та виконавчими робочими органами (сервоприводами), які розміщуються на сільськогосподарських машинах, так і виконавчими робочими органами, які розміщуються на сільськогосподарських машин відбувається зменшення часу реакції системи.

При цьому, збільшення відстані між робочими електродами (датчиками) технічної системи оперативного моніторингу та виконавчими робочими органами (сервоприводами), які розміщуються на сільськогосподарських машинах, не завжди доцільне та обмовлене механіко-конструктивним параметрами.

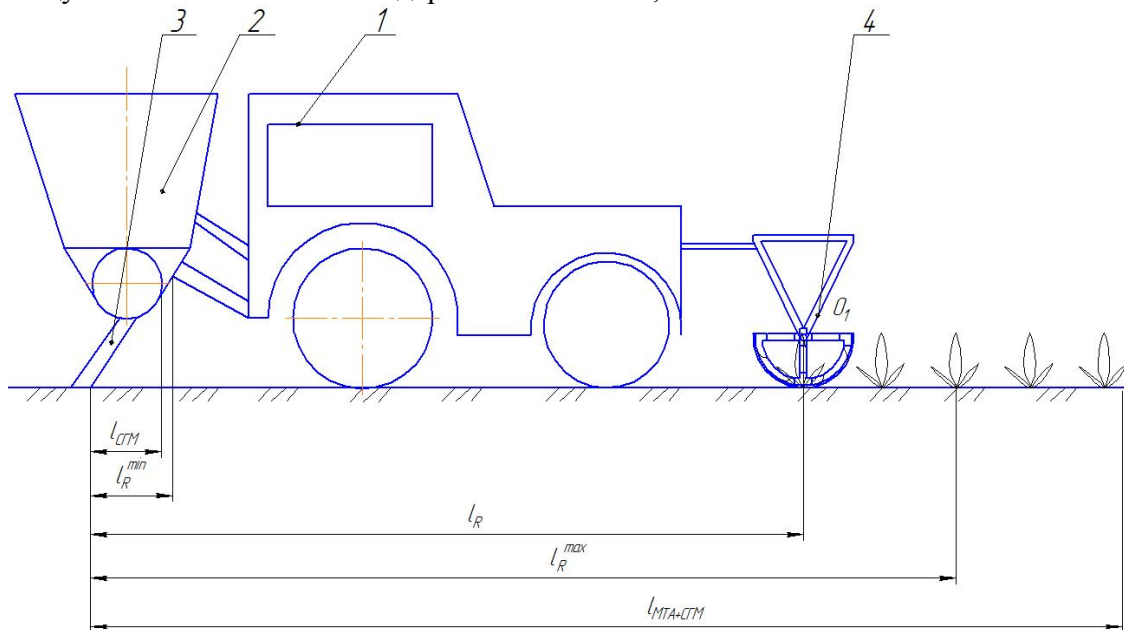
Час реакції залежно від відстані між робочими електродами (датчиками) технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь та виконавчими робочими органами (сервоприводами), які розміщуються на сільськогосподарських машинах (рис. 1):

$$t_{TCM} = \frac{S_{MTA-TCM}}{V_{MTA+TCM}} - t_{СГМ}, \quad (1)$$

де $S_{MTA-TCM}$ – відстань від робочих органів технічної системи оперативного моніторингу до виконавчих робочих органів (сервоприводів), які розміщуються на сільськогосподарських машинах, м;

$V_{MTA-TCM}$ – швидкість руху машинно-тракторного агрегату, сільськогосподарської машини, технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, м/с;

t_{CFM} – швидкість реакції виконавчих робочими органами (сервоприводами), які розміщуються на сільськогосподарських машинах, с.



1 – трактор, 2 – сільськогосподарська машина, 3 – виконавчий робочий орган,
4 – інформаційна технічна система операційного моніторингу

Рисунок 1 – Загальний вигляд забезпечення якості виконання технологічних операцій

Проміжок часу $t_\alpha \leq t_n \leq t_\beta$ (де t_α – початковий стан системи в час α , t_β – кінцевий стан системи в час β , t_n – проміжне положення системи в час n), протягом якого система повинна бути переведена з одного стану $x(t_\alpha) = X_\alpha$ в інший $x(t_\beta) = X_\beta$, визначається завчасно умовою задачі. Однак не виключена ситуація, коли в момент часу $t_n = t_\beta$ процес не закінчений, а вимагає додаткового часу на його завершення по ходу рішення проблеми у відповідності з тими або іншими умовами задачі. При цьому потрібно враховувати обмеження на ресурси органів керування, які реалізують керуючу дію. Якщо реалізувати подібні обмеження, як вимоги обмеженості відповідним чином підібрати інтенсивність $\xi[u]$ і швидкість керування $u(t)$ ($t_\alpha \leq t_n \leq t_\beta$) (рис. 1).

При виконанні технологічної операції з використанням технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, необхідно враховувати граничну бистродію виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу.

Іншими словами, технічна система разом із виконавчими органами сільськогосподарських машин не в змозі забезпечити виконання належної якості, тобто, технологічний матеріал буде надходити запізно до заданої точки або не доходити

взагалі, «масиви» отриманої інформації будуть накладатись, а, відповідно, і не забезпечуватиметься належна якість виконання технологічних операцій. Зона зменшення відстані до ефективного діапазону оперативного реагування обмежена відстанню до робочих органів сільськогосподарських машин $l_{СГМ}$.

При значному збільшенні відстані між технічними системами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, так і робочими органами сільськогосподарських машин відбувається зменшення часу реакції системи, що обумовлене механіко-конструктивними параметрами машинно-тракторного агрегату $l_{МТА+СГМ}$ та їх впливом на якість виконання технологічного процесу.

Представимо модель керування якістю виконання технологічних операцій за принципом зворотного зв'язку із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь за допомогою прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу.

Представимо функцію, яка описує якість виконання технологічної операції. Функція, що описує ефективність використання технічних систем оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь набуває вигляду:

$$F(\dot{X}_R(t) - \dot{X}_S(t), l). \quad (2)$$

Тоді маємо систему рівнянь:

$$F(t) = \begin{cases} \dot{X}_R(t) - \dot{X}_S(t) \\ l_{СГМ} \leq l_R^{\min} < l_R < l_R^{\max} \leq l_{МТА+СГМ} \end{cases}. \quad (3)$$

При розробці моделей цільової функції динамічного управління якістю виконання технологічних операцій в основі поставлені інтереси двох головних категорій – модель агробіологічного стану сільськогосподарських угідь та поточна якість виконання технологічних операцій.

Очевидно, що запропонованими типами штрафних функцій не вичерпана вся різновидність розглянутого підходу. Однак, здійснюючи розробку нових критеріїв ефективності необхідно пам'ятати про значну складність обчислювального процесу і врахувати всі особливості організації технологічного процесу з метою скорочення кількості виконуваних операцій.

Для забезпечення належної якості технічної системи необхідно дотримання вимоги:

$$\dot{X}_R(t) > \dot{X}_S(t), \quad (4)$$

де $\dot{X}_R(t)$ – функція, яка описує швидкість реакції технічної системи моніторингу на якість виконання сільськогосподарської операції;

$\dot{X}_S(t)$ – функція, яка описує швидкість реакції робочих органів сільськогосподарської машини на забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

Тоді

$$\dot{X}_R(t) - \dot{X}_S(t) > 0 . \quad (5)$$

Таким чином, різниця показника, що описує швидкість реакції технічної системи моніторингу на якість виконання сільськогосподарської операції робочими органами сільськогосподарських машин $\dot{X}_R(t)$ і швидкість реакції робочих органів сільськогосподарської машини на забезпечення належної якості виконання технологічної операції $\dot{X}_S(t)$ повинна бути завжди більше 0.

Тоді задача керування рухом технічної системи оперативного керування станом сільськогосподарських угідь з врахування початкового та кінцевого стану робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь виражається залежністю:

$$\dot{x} = A(t) \cdot x + B(t) \cdot u + \omega(t) , \quad (6)$$

де початкове x_α та кінцеве x_β значення фазового вектора $x(t)$ і обмеження на вибрану інтенсивність керування $u(t)$:

$$\xi[u] \leq \mu . \quad (7)$$

Потрібно знайти момент часу $t_n = t_\beta^0$ і відповідну йому можливість керування $u^0(t)$

Для такої системи задача про граничну бистродію може бути сформульована шляхом пошуку в класі можливих узагальнених керувань.

Керування, яке вирішує задачу про граничне керування або граничну бистродію виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь буде називатися оптимальним по бистродії, а число, рівне найкоротшому часу переходу системи із початкового стану в кінцеве, називають оптимальним часом переходу процесу

В задачі граничної бистродії технічних систем оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь керування дією представлено у вигляді функції від часу з врахуванням початкового і кінцевого моментів часу.

Синтез оптимальної систем граничної бистродії технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Якщо мова йде про керування за рахунок відкидання реактивної маси, тоді

$$\int_{t_\alpha}^{t_\beta} |\partial U(\tau)| \leq \mu(t_\alpha) , \quad (8)$$

де $\mu(t_\alpha)$ – характеризує запас реактивної маси, яка може бути використана при $t_n > t_\alpha$.

Оскільки момент t_β завчасно не відомий то:

$$\int_{t_\alpha}^{\infty} |\partial U(\tau)| \leq \mu(t_\alpha) , \quad (9)$$

де символ β підкреслює як раз те, що момент t_β , коли закінчиться процес керування, нам не відомо, і ми на весь майбутній час $t_n \geq t_\alpha$ маємо ресурс керування, рівний $\mu(t_\alpha)$. Тоді вимірювання $\mu(t)$ за час $t_\alpha < t_n \leq t_\gamma < t_\beta$ буде визначатися, виходячи із рівності

$$\mu(t_\gamma) = \mu(t_\alpha) - \int_{t_\alpha}^{\infty} |\partial U(\tau)|, \quad (10)$$

де $dU(\tau)$ – керування, яке реалізується під час руху машинно-тракторного агрегату.

В деяких випадках $U(t, x, \mu)$

$$U_0(t, x, \mu) = U_{t, x, \mu}(t), \quad (11)$$

де $U_{t, x, \mu}(t)$ - оптимальне керування для відповідної програмної задачі.

$$\mu^2(t_\gamma) - \mu^2(t_\alpha) = - \int_{t_\alpha}^{t_\gamma} \|U(\tau)\|^2 d\tau. \quad (12)$$

Оскільки ми розглядаємо лише неперервні функції, відповідно із зміною $\mu(t)$ із часом описується диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} 2\mu \cdot \dot{\mu} &= -\|U(\tau)\|^2, \\ f(t, x, \mu, T) &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

або

$$\frac{dT}{d\vartheta} = -f(t, x, \mu, T). \quad (14)$$

Розглянемо об'єкт W , стан якого в час ϑ характеризується величиною $T(\vartheta)$, яка змінюється відповідно до диференціального рівняння.

Тоді буде виконуватися рішення

$$\lim T(\vartheta) = T_0 \text{ при } \vartheta \rightarrow \infty. \quad (15)$$

Так як функція постійно зростає тоді маємо:

$$\frac{d}{d\vartheta} (T(\vartheta) - T_0(\vartheta))^2 = -(T(\vartheta) - T_0(\vartheta))^2 f(t, x, \mu, T) < 0. \quad (16)$$

Висновки. Запропонована математична модель граничної бистродії виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану

сільськогосподарських угідь дозволяє забезпечити оптимізацію технологічного ресурсу та забезпечити приріст врожайності на рівні 20%.

Список літератури

1. Poritsky, H. Optimum thrust orbits. Proc. 4-th US Nat. Congr. Appl. Mech., Berkeley Calif, 1962, vol. 1, Pergamon Press.
2. Pottle H. V.: The digital adaptive control of a linear process modulated by random noise. IEEE Trans. Aut. Control, 1963, vol. AC-8, N 3.
3. Rajamani, V. S., Mc Caus Iand I.: Minimal-time control of linear systems using functional analysis. Intern. J. Control, 1965, vol. 2, N 1.
4. Rekasius, Z. V., Hsia, T. C.: On an inverse problem in optimal control. IEEE Trans. Aut. Control, 1964, vol. 9, N 4, pp.370-375.
5. Rekoff, M. G.: State-variable techniques for control systems. Electro-Technol., 1964, vol. 73, N 5.
6. Reynolds, P. A., Cadzow, J. A.: Solution of an optimization problem for linear discrete systems through ordinary calculus. IEEE Trans. Aut. Control, 1965, vol. 1.0, N 2, pp. 209-211.
7. Wazewski Tadeusz: O problemie optymalnego sterowania w przypadku nieliniowym. Arch. aut. i Telemech., 1962, vol. 7, N 1-2, str.19-32.
8. Weiss, L.: The concepts of differential controllability and differential observability. J. Math. Anal. and Appl., 1965, vol. 10, N 2, pp.442-449.
9. Westcott, J. H.: Design of multivariable optimum filters. Trans. ASME, 1958, vol. 80, pp. 463–467.
10. Wilde Douglas L.: Optimization metliods. Advances Chem. Engng., vol. 3, New York – London, Acad. Press., 1962.
11. Winde knech t T. G.: Optimal stabilization of a rigid body attitude. J. Math. Anal. and Appl., 1963, vol. 6, N 2.
12. Womakk B. F., Dashie l l . N.: A weighted time performance index for optimal control. IEEE Trans. Aut. Control, 1965, vol. 10, N 2.
13. Броварець, О. Розумні машини для розумних господарів [Текст] / О. Броварець // Зерно. – 2016. – № 9 (81). – С. 262–266
14. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / О. Броварець // Техніка і технології АПК. – 2016. – № 9 (84). – С. 19 - 23.
15. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / Броварець О.// Техніка і технології АПК. – 2016. – № 10 (85). – С. 28 - 30.
16. Адамчук, В.В., Мойсеєнко, В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. / В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип. 86. – С. 20-32.
17. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І.Грицишина, С.М.Коваля. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
18. Ормаджи, К.С. Контроль качества полевых работ [Текст] / К.С. Ормаджи. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191с.
19. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. – М.: «Наука», 1983. – 392 с.
20. Бурачек, В.Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних [Текст] : монографія / В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, В.І. Зацерковний. – Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2011. – 440с.
21. Масло, І.П. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин [Текст] / І.П.Масло, В.Г. Мироненко // УААН: Розробки-виробництву. – К.: Аграрна наука, 1999. – С.348–349.
22. Гуков, Я. С. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений [Текст] / Я. С. Гуков, Н. К. Линник, В. Г. Мироненко // Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия. – Рязань, 2001. – С. 48–50.

Olexandr Brovaryts, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Kyiv Cooperative Institute of Business and Law, Kyiv, Ukraine

Mathematical model of the boundary runway of the executive working bodies of the technical system of operational monitoring of the condition of agricultural lands

In order to ensure the proper efficiency of agricultural production, there is a need to ensure the quality of the implementation of technological operations on the basis of data of the operational monitoring of the state of agricultural land.

The technical systems of operational monitoring of the condition of agricultural lands give an opportunity to obtain operational data on the agrobiological state of the soil environment and to ensure the proper quality of the implementation of technological operations on the basis of the received data. The executive working bodies of such systems should ensure the proper quality of the implementation of the technological operation at the expense of the speed of executive bodies, due to the mechanical and constructive parameters of agricultural machines that perform technological operations.

Such a model allows to ensure the rational introduction of technological material to take into account the agrobiological state of the soil environment, while it is possible to ensure an increase in the actual yield of agricultural crops at a level of 20%.

optimal control, limit bistrode, rate of application, technological material

Одержано 03.07.17

УДК 621.924.9

О.В. Горик, проф., д-р техн. наук, О.М. Брикун, асист.

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна, E-mail: brukyn@ukr.net

Р.Є. Черняк, ген. дир.

Компанія «АвтоКрАЗ», м.Кременчук, Україна

Оцінка інтенсивності абразивного руйнування металевих поверхонь дією дробоструминного факелу

Подана експериментально-аналітична методика визначення коефіцієнту руйнування, який характеризує інтенсивність руйнівної дії дробоструминного факелу при очищенні металевих поверхонь. Значення коефіцієнта ударно-абразивного втомного руйнування оцінюється співвідношенням між експериментально визначеним об'ємом видаленого металу та експериментально визначеним або аналітично розрахованим об'ємом деформованого металу поверхні оброблюваного виробу, які (об'єми) визначаються залежно від заданих технологічних режимів процесу очищення. Знайдений коефіцієнт інтенсивності руйнування дає можливість оптимізувати технологічні режими процесу дробоструминного очищення металевих поверхонь.

дробоструминне очищення, коефіцієнт ударно-втомного руйнування, пружно-пластичне деформування, механізм руйнування, об'єм сліду

А.В. Горик, проф., д-р техн. наук, А.Н. Брикун, асист.

Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

Р.Е. Черняк, ген. дир.

Компания «АвтоКрАЗ», г. Кременчук, Украина

Оценка интенсивности абразивного разрушения металлических поверхностей действием дробеструйного факела

Представлена экспериментально-аналитическая методика определения коэффициента разрушения, который характеризует интенсивность разрушительного действия дробеструйного факела при очистке металлических поверхностей. Значение коэффициента ударно-абразивного усталостного