

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ ОПЕРАТИВНИХ ДАНИХ ВІД ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Сучасні інформаційно-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 «смайт» машин (Smart machinery).

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. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану ґрунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так званий «management units» - територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де повинні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур. Ці технології є основою роботи системи прийняття рішень «decision-making systems», яка дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення на основі оперативних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – технічних систем оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Сформульована модель оптимального керування якістю виконання технологічної операції на основі оперативних даних від технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь залежно від агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Дана модель дає можливість забезпечити належну ефективність та якість виконання технологічних операцій у сільськогосподарському виробництві.

Ключові слова: оптимальне керування, технологічна операція, оперативний моніторинг.

O.O Brovarets

Kyiv Cooperative Institute of Business and Law

MODEL OF OPTIMAL QUALITY MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL SURGICAL OPERATION BASED ON DATA FROM OPERATING SYSTEMS DESIGN OF MONITORING FARMLAND

Abstract. Modern information and technical systems operational monitoring of agricultural land make it possible to ensure proper implementation of quality control of manufacturing operations using modern information technology mechatronic and robotic control systems, sensors associated with quality control of manufacturing operations, which in the current context of development called "intelligent" or "smart" cars (Smart machinery).

These "smart" machines with sensors monitoring the operational status of agricultural land can be widely used in all stages of agricultural crop production, basic tillage, sowing (planting) during the care of crops during the growing season and at harvest. "Smart" cars "adapt" to the state agrobiological soil environment based on information from sensors on the state of agrobiological soil environment.

An important task of monitoring the operational status of agricultural land is called «management units» - units with similar parameters spatial heterogeneity, which must be used the same type of technology of cultivation of crops. These technologies are the basis of decision-making system «decision-making systems», which allows to take effective operational decisions based on the available data on the state of agrobiological soil environment.

In this sense, takes Relevance development and use of a fundamentally new class of agricultural machinery - technical monitoring of operational status agrobiological variability of soil environment farmland.

Formulated model of optimal quality management implementation of technological operations on the basis of available data, technical system operational monitoring of agricultural land depending on the state of agrobiological farmland. This model makes it possible to ensure proper performance and quality of manufacturing operations in agricultural production.

Keywords: optimal control, process operation, operational monitoring.

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 «смайт» машин (Smart machinery) [1-15].

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 збирання врожаю. Це дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій при оптимізації витрат на їх виробництво. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану ґрунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан ґрунтового середовища [13-15].

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 (срвоприводів) керування якістю виконання технологічної операції, які дадуть можливість виконати зазначений алгоритм.

Метою статті є побудова функції оптимального керування якістю виконання технологічної операції на основі даних технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Аналіз досліджень і публікацій. Для забезпечення ефективного функціонування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь необхідно забезпечити чітке функціонування технічної системи оперативного моніторингу.

Виклад основного змісту дослідження. Сучасна технологія диференційованого внесення технологічного матеріалу з використанням технічних системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дає можливість забезпечити «зв'язок» машини з агробіологічним полям. Диференційоване внесення технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) важливе з точки зору забезпечення максимальної врожайності сільськогосподарських культур.

Для забезпечення ефективного функціонування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь необхідної на початковому етапі визначити тип робочих органів та їх механіко-конструктивними параметрами залежно від виконуваної технологічної операції. У якості робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь можуть бути використані наступні: - суцільні диски; диски із спеціальними фігурними вирізами; трьох спицевий диск з тороподібним вінцем; пустотілого тору виконано у вигляді колеса; пустотілий напівтор; полозовидні електроди.

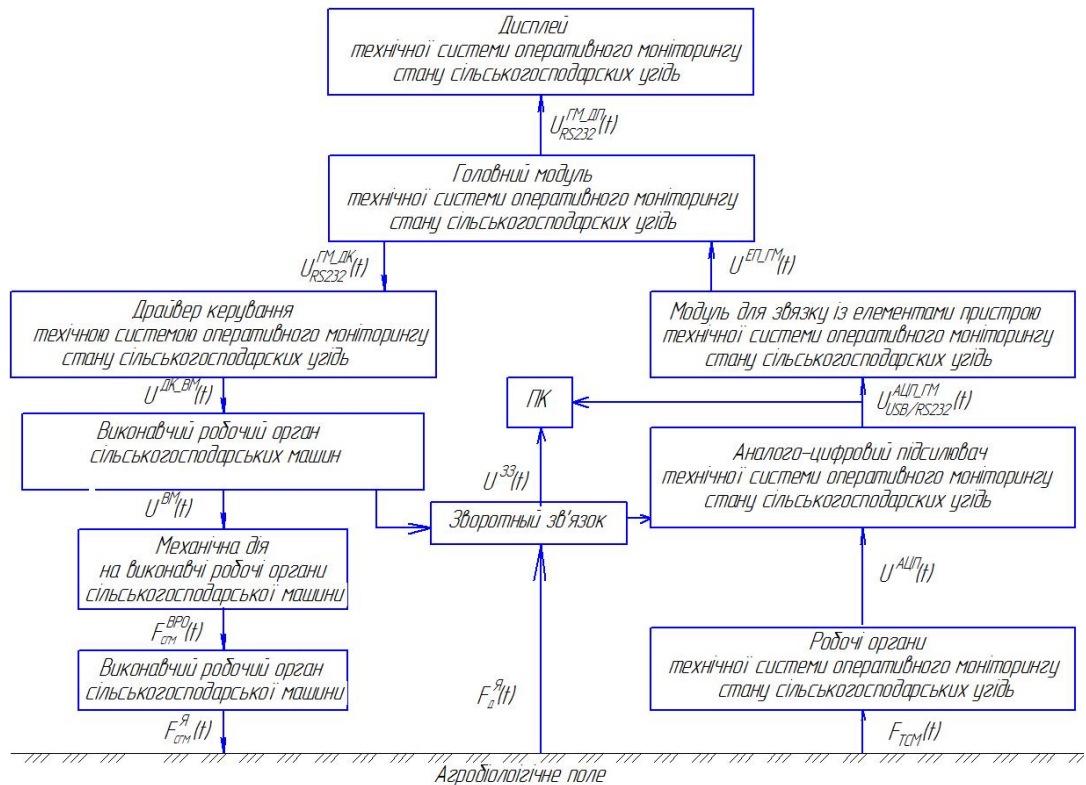


Рис. 1. Блок-схема реалізації функції оптимального керування якістю виконання технологічної операції на основі даних технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь

Сигнал від робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь $F_{ТМ}^y(t)$ перетворюється у аналого-цифровий сигнал блоку керування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь $U^{АЦП}(t)$. Потім після підсилення даний сигнал $U_{USB/RS232}(t)$ передається до головного модуля технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Для наочного відображення результатів виконання технологічних операцій використовується дисплей технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь $U_{RS232}(t)$

Головний модуль технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь передає сигнал $U_{V_RS232}(t)$ на драйвер керування технічною системою оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Від драйвера керування іде сигнал $U_{RS232}^{ВМ}(t)$ на виконавчий механізм

технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь (сервопривід), який через механічний зв'язок $F_{CTM}^{BPO}(t)$ забезпечує дію на дію на робочий орган сільськогосподарської машини, яка виконує технологічні операції.

$$U_{\alpha}^{\beta}(t) = U(t_{\beta} - t_{\alpha}) = \int_{t_{\alpha}}^{t_{\beta}} \left[F_{TCM}(t) + U^{AIII}(t) + U_{USB/RS232}^{AIII-ГМ}(t) + U^{EP-ГМ}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДП}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДК}(t) + U^{ДК-ВМ}(t) + U^{ВМ}(t) + F_{CTM}^{BPO}(t) + F_{CTM}^{\text{Я}}(t) + F_{Д}^{\text{Я}}(t) + U^{33}(t) \right] dt \leq \mu(t_{\alpha}) \quad (1)$$

Функція оптимального керування буде мати наступний вигляд:

$$U_{OPT}(t) = F_{TCM}(t) + U^{AIII}(t) + U_{USB/RS232}^{AIII-ГМ}(t) + U^{EP-ГМ}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДП}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДК}(t) + U^{ДК-ВМ}(t) + U^{ВМ}(t) + F_{CTM}^{BPO}(t) + F_{CTM}^{\text{Я}}(t) + F_{Д}^{\text{Я}}(t) + U^{33}(t) \quad (2)$$

де $F_{TCM}(t)$ - функція, яка описує функціонування технічної системи оперативного моніторингу при оперативному моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь при виконанні технологічної операції;

$U^{AIII}(t)$ - функція, яка описує вихідний сигнал отриманий від робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь до аналого-цифрового підсилювача перетворювача за допомогою екранованих проводів;

$U_{USB/RS232}^{AIII-ГМ}(t)$ - функція, яка описує вихідний сигнал отриманий від аналого-цифрового підсилювача перетворювача технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь та передає сигнал до модуля зв'язку із технічними системами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь з використанням порту $RS232$ чи до персонального комп'ютера за допомогою порту USB ;

$U^{EP-ГМ}(t)$ - функція, що описує зв'язок елементів пристрою з головним модулем технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь;

$U_{RS232}^{ГМ-ДП}(t)$ - функція, яка описує сигнал отриманий від головного модуля до дисплею керування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь;

$U_{RS232}^{ГМ-ДК}(t)$ - функція, яка описує сигнал отриманий від головного модуля до драйвера керування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь;

$U^{ДК-ВМ}(t)$ - функція, яка описує вихідний сигнал отриманий від драйвера керування до виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь;

$U^{ВМ}(t)$ - функція зміни напруги керування виконавчим механізмом технічної системи оперативного моніторингу (в даному випадку електродвигун чи сервопривід);

$F_{CTM}^{BPO}(t)$ - функція, яка описує керування виконавчими робочими органами сільськогосподарських машин, яка виконує технологічну операцію (ланцюгові передачі, варіатор та інша механічна частина);

$F_{CTM}^{\text{Я}}(t)$ - функція, яка описує механічну дію виконавчих робочих органів сільськогосподарської машини на якість виконання технологічного процесу;

$F_{Д}^{\text{Я}}(t)$ - функція, яка описує інформацію від датчика якості виконання технологічної операції, які розміщується на сільськогосподарській машини з оперативним керуванням якістю залежно від технічних систем оперативного моніторингу;

$U^{33}(t)$ - функція, що описує зворотній зв'язок від параметрів та режимів роботи виконавчих робочих органів сільськогосподарських машин і синхронізується з даними аналого-цифрового підсилювача технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь $U_{USB/RS232}^{AIII-ГМ}(t)$ та передається на головний модуль;

$ПК$ - персональний комп'ютер, який отримує інформацію від функції $U_{USB/RS232}^{AIII-ГМ}(t)$, яка описує вихідний сигнал отриманий від аналого-цифрового підсилювача перетворювача технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь з використанням порту USB ;

За допомогою даних взаємозв'язків забезпечується оптимальне керування якістю виконання технологічної операції на основі оперативних даних від технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. За допомогою дисплею відбувається поточне керування якістю використання технічною системою оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь та налагодження параметрів роботи. За допомогою персонального комп'ютера здійснюється синхронізація, зберігання та контроль виконання технологічного процесу та реалізація запропонованого алгоритму. Персональний комп'ютер та дисплей фактично є «мозком» даної системи, а головний модуль – «серцем».

Всі показники залежать від t , що змінюється за залежністю:

$$t = \frac{\dot{X}}{X}, \quad (3)$$

де \dot{X} - швидкість зміни зазначеного параметру;
 X - відстань протягом якої відбувається зміна

Для керування приводним електродвигуном та сервоприводом використовуються $u_{OX_{CT}}, u_{OY_{CT}}$ - проекція узагальненого вектора напруги статора на координатні осі OX_{CT}, OY_{CT}

$$(u_{OX_{CT}}^{t_\beta - t_\alpha} = U_{\max} \cdot \cos \left(2\pi \int_{t_\alpha}^{t_\beta} f(t) dt \right), u_{OY_{CT}}^{t_\beta - t_\alpha} = U_{\max} \cdot \sin \left(2\pi \int_{t_\alpha}^{t_\beta} f(t) dt \right).$$

U_{\max} - максимальна амплітуда фазової напруги живлення двигуна;

$f(t)$ - частоти напруги живлення двигуна;

$$(e_{2OX_{CT}} = p \cdot \omega_{ДВ} \cdot (L_2 \cdot i_{2OY_{CT}} + L_{12} \cdot i_{1OY_{CT}}) + i_{2OX_{CT}} \cdot R_1, e_{2OY_{CT}} = p \cdot \omega_{ДВ} \cdot (L_2 \cdot i_{2OX_{CT}} + L_{12} \cdot i_{1OX_{CT}}) + i_{2OY_{CT}} \cdot R_2$$

p - кількість пар полюсів електричної машини;

R_1 - активний опір статорної обмотки;

R_2 - зведений до статора активний опір роторної обмотки;

δ - коефіцієнт розсіювання ($\delta = 1 - (1 + X_1 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f(t) \cdot L_{12})^{-1}) \cdot (1 + X_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f(t) \cdot L_{12})^{-1})$);

X_1 - індуктивний опір статорної обмотки;

X_2 - зведений до статора індуктивний опір роторної обмотки;

L_1, L_2 - індуктивності статорної та роторної обмотки;

L_{12} - взаємодуктивність;

k_r, k_s - коефіцієнти магнітного зв'язку ротора і статора відповідно ($k_r = L_{12} \cdot L_2^{-1}, k_s = L_{12} \cdot L_1^{-1}$);

$\omega_{ДВ}$ - кутова швидкість вала двигуна.

$i_{1OX_{CT}}, i_{1OY_{CT}}, i_{2OX_{CT}}, i_{2OY_{CT}}$ проекція узагальненого вектора статора та статора на осі координат OX_{CT}, OY_{CT} .

u - передаточне число приводу;

$\eta_{П}$ - ККД передача приводу;

$r_{ВАЗ}$ - радіус важеля впливу на механічну систему.

$$I_{U_{t_\alpha}^{t_\beta}} = \left[\frac{1}{T} \int_{t_\alpha}^{t_\beta} U_{t_\alpha}^{t_\beta}(t) \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min \quad (4)$$

Вихідний сигнал технічної системи оперативного моніторингу, для забезпечення оптимального керування якістю виконання технологічної операції на основі даних технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь:

Залежність між вмістом поживних речовин у ґрунті та нормою їх внесення:

$$a_{kij} = a_0 + b \cdot e^{-kx} \quad (5)$$

a_{kij} — норма внесення мінеральних добрив k -ого ($k = 1, 2, \dots, r$) (діючої речовини) виду на ділянці сільськогосподарського поля індексом i ($i = 1, 2, \dots, n$) і номер способу внесення добрив j ($j = 1, 2, \dots, k$) для отримання одиниці приросту урожаю продукції залежно від планова урожайність сільськогосподарської культури $U_{П}^{Yp}$ кг/га

Керування якістю виконання технологічних операцій:

$$U(t_\beta - t_\alpha) = \int_{t_\alpha}^{t_\beta} \left| F_{TCM}(t) + U_{АЦП}(t) + U_{USB/RS232}^{АЦП-ГМ}(t) + U_{EP-ГМ}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДП}(t) + U_{RS232}^{ГМ-ДК}(t) + U_{DK-BM}(t) + U_{BM}(t) + F_{CFM}^{BPO}(t) + F_{CFM}^Я(t) + F_{Д}^Я(t) + U^{33}(t) \right| dt \leq \mu(t_\alpha) \quad (7)$$

Синтез оптимальної систем граничної бистродії технічної системи оперативного моніторингу технічної системи моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Якщо мова йде про керування за рахунок відкидання реактивної маси:

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

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

Оскільки момент t_β завчано не відомий то:

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

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

Висновок. Запропонована модель оптимального керування якістю виконання технологічної операції на основі оперативних даних від технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, яка дає можливість забезпечити оптимізацію витрат технологічного матеріалу на 20-30 % при збільшенні врожайності на 15-20%.

Література

1. Гарам В.П., Пашко А.О. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві. // Наука та інновації, 2005. – Т1. № 2. – С. 110-116.
2. Жук З.Я., Победоносцев А.Ю. Концепция и возможные направления развития технологий и техники сельскохозяйственного будущего // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1992. – № 1. – С.1–6.
3. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства / Броварець О.// Техніка і технології АПК. – 2016. – № 10 (85). – С. 28 - 30.
4. 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.
5. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І.Грицишина, С.М.Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
6. Броварець О. Розумні машини для розумних господарів. / О. Броварець // Зерно. – 2016. – № 9 (81). – С. 262-266.
7. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства / Броварець О.// Техніка і технології АПК. – 2016. – № 9 (84). – С. 19 - 23.
8. Масло І.П., Мироненко В.Г. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин. УААН: Розробки-виробництво. К.: Аграрна наука, 1999. –С.348–349.
9. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві. Монографія, НАУ – К.,2005. – 271с.

References

1. Haram V.P., Pashko A.O. Suchasne upravlinnya ahrotekhnolohichnym protsesom u roslynnystvi. // Nauka ta innovatsiyi, 2005. – T1. № 2. – S. 110-116.
2. Zhuk Z.YA., Pobedonostsev A.YU. Kontseptsyya y vozmozhnye napravlenyya razvytyya tekhnolohyy y tekhniky sel'skokhozyaystvennoho budushcheho// Traktory y sel'skokhozyaystvennye mashyny, 1992. – № 1. – С.1–6.
3. Brovarets O. Vid bezpluzhnogo do hlobal'noho rozumnoho zemlerobstva / Brovarets O.// Tekhnika i tekhnolohiyi APK. – 2016. – № 10 (85). – S. 28 - 30.
4. Adamchuk V.V., Moysyenko V.K., Kravchuk V.I., Voytyuk D.H. Tekhnika dlya zemlerobstva maybutn'oho. / V zb.: Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil'skokoho gospodarstva. – Hlevakha: NNTS „IMES-H”. – 2002. – Vyp.86. – S. 20-32.
5. Suchasni tendentsiyi rozvytku konstruktсий sil'skohospodars'koyi tekhniky / Za red. V.I. Kravchuka, M.I.Hrytsyshyna, S.M.Kovalya. – K.: Ahrarna nauka, 2004. – 398 s.
6. Brovarets O. Rozumni mashyny dlya rozumnykh gospodariv. / O. Brovarets // Zerno. – 2016. – № 9 (81). – S. 262-266.
7. Brovarets O. Vid bezpluzhnogo do hlobal'noho rozumnoho zemlerobstva / Brovarets O.// Tekhnika i tekhnolohiyi APK. – 2016. – № 9 (84). – S. 19 - 23.
8. Maslo I.P., Myronenko V.H. Avtomatyzovana systema lokal'no-dozovanoho vnesennya dobrov y khimichnykh zasobiv zakhystu roslyn. UAAN: Rozrobky-vyrobnystvu. K.: Ahrarna nauka, 1999. –S.348–349.
9. Myronenko V.H. Tekhnichni zasoby zabezpechennya yakosti vykonannya tekhnolohichnykh protsesiv u roslynnystvi. Monohrafiya, NAU – K.,2005. – 271s.

Рецензія/Peer review : 4.4.2017 р. Надрукована/Printed :26.6.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією