



УДК 631.319; 681.513.6

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-10

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКОВОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБРОБІТКОМ ГРУНТУ

**Іванюта Михайло Васильович**, к.т.н., старший науковий співробітник  
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

**Mykhailo Ivaniuta**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS

*Загальновідомо, що одним із суттєвих недоліків розвитку сучасних технологічних процесів є використання аспектів мислення, пов'язаних із використанням уже використаних позицій проектування. З практичної точки зору в землеробстві не існує єдиного оптимального рішення з обробки ґрунту. Методологія вирішення складних, різнополюсних задач якості та ефективності технології повинна враховувати значну кількість факторів і бути представлена в доступному вигляді для реагування робочих органів ґрунтообробних машин.*

*Точний обробіток ґрунту має великий потенціал. Результат операцій обробки ґрунту можна покращити залежно від оптимальних конструкційних та експлуатаційних параметрів, які, крім того, можуть бути адаптовані до технології вирощування залежно від місцевих агрокліматичних умов.*

*У статті наведено результати синтезу системи адаптивного керування обробітком ґрунту шляхом декомпозиції складної технологічної системи з моделюванням структурної схеми та матричних зображень потокових технологічних впливів робочих органів машин та зовнішніх агрокліматичних умов на агрофізичні показники ґрунту.*

*Методами дослідження є методи аналізу структурних схем систем управління технологічними процесами; системоаналогові моделювання систем управління обробітком ґрунту; структурний аналіз і синтез технологічних змін агрофізичних показників обробітку ґрунту.*

*Основними результатами є структурна схема системи потокового адаптивного управління ґрунтообробним агрегатом для вимог точного (керованого) землеробства; матрична схема зображення та узагальнена система рівнянь потокового адаптивного управління робочими органами ґрунтообробних машин; системо-аналогова модель машино-тракторного агрегата з адаптивним управлінням робочих органів.*

**Ключові слова:** ґрунтообробні машини, адаптивне управління, потокове управління, матричні моделі, структурне моделювання, точне (кероване) землеробство.

**Ф. б. Рис. 7. Літ. 22.**

---

### 1. Постановка проблеми

Системи адаптивного управління, що направлена на знаходження та впровадження компромісних рішень [1 - 6] зокрема: отримання високої якості агротехнічних операцій згідно агротехнологічних електронних карт (АТЕК), що забезпечують розрахунковий рівень урожайності; оптимальні затрати матеріалів та коштів на процес підготовки ґрунту, що досягаються при скороченні перехідних і нетипових режимів роботи; мінімальне відхилення від вимог АТЕК в наслідок непередбачених та випадкових порушень оптимальних режимів роботи ґрунтообробних машин.

Відомо також [4, 1, 7] що при розробці і розрахунках автоматизованого управління обробітком ґрунту та конкретних задач керування робочими органами ґрунтообробних машин, основні труднощі пов'язують з відсутністю необхідної потокової інформації стану агрофізичних показників ґрунту. Таку інформацію як складову адаптивного управління, необхідно отримувати динамічно, в процесі роботи всієї адаптивної системи обробітком ґрунту, що досліджено недостатньо.

---

### 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженнями [8, 9] відзначено, що одним з суттєвих недоліків розробки сучасних технологічних процесів є визначений традиційний спосіб мислення, пов'язаний з використанням при проектуванні конструкційних схем що вже раніше використовувались. Сучасними напрямками



розвитку технологій обробітку ґрунту є процеси реалізації прогресивних управлінь режимами роботи ґрунтообробних машин і робочих органів в умовах ризиків та невизначеності функціональних навантажень від оточуючого середовища.

Узгодження закономірностей функціонування робочих органів сільськогосподарських машин, що властиві для технологічних процесів зміни фазового стану ґрунту, дозволяє побудувати високоякісні системи керування та виконувати розробки систем потокового адаптивного управління процесами обробітку ґрунту.

Основні вимоги до розробки сучасних ґрунтообробних машин повинні забезпечувати якісні показники обробітку ґрунту незалежно від умов апріорної невизначеності та умов функціонування. Під умовами апріорної невизначеності розуміють зміну гранулометричного складу ґрунту, щільності та структури як вхідних параметрів залежно від агрокліматичного розташування оброблюваної ділянки. [10, 3, 7, 11].

Підвищення якості обробітку ґрунту може бути вдосконалено використанням систем гарантовано-адаптивного управління робочими процесами з вхідними параметрами АТЕК та коригуваннями залежно від зовнішніх умов [5, 10, 12].

Синтез адаптивної системи управління ґрунтообробних агрегатів може базуватись на принципах побудови автоматичного регулятора зміни фазового стану ґрунту. Розвиток теорій автоматичного регулювання (ТАР) призвів до відображення систем у вигляді структурних схем з позначенням передаточних функцій що характеризують ланки або їх групи.

Побудова адаптивних систем обробітку ґрунту шляхом синтезу структурної схеми дозволяє виконати концептуальні проектування на матричному полі що може бути базовим для проектування кібернетичної та математичної моделі залежно від рівня деталізації [22].

Узгодження закономірностей функціонування робочих органів сільськогосподарських машин, що властиві для технологічних процесів зміни фазового стану ґрунту, є базовими для побудови високоякісних систем адаптивного управління процесами обробітку ґрунту.

---

### 3. Мета досліджень

---

Прогнозування робочих процесів потокового адаптивного управління ґрунтообробних машин на основі синтезу складної технологічної системи з подальшим моделюванням поточкових змін та їх динамічного впливу на робочі органи. Розробити матричну структуру, алгоритм, системоаналогову модель, та рівняння потокового адаптивного управління робочими органами для машино-тракторного агрегата.

---

### 4. Виклад основного матеріалу

---

Основа структуризації системи полягає в комплексному уявленні про відповідну кількість типових задач, між якими відсутні або не встановлені взаємозв'язки [8, 9]. Складність структуризації можна знизити шляхом аналізу проблеми, оцінки та розробки алгоритмічного комплексу з послідовним прийняттям рішень щодо синтезу адаптивних систем.

Розв'язок проблем якісного і ефективного обробітку ґрунту може бути виконано шляхом синтезу аспектів технологічних змін, системного аналізу та моделювання методом структурних матриць [13].

Послідовність елементарних дій сформовано у вигляді схеми алгоритму керування (Рис. 1) на основі агротехнологічної електронної карти (АТЕК) з визначеною послідовністю операцій.

Існують також підтвердження [10, 3, 15] що основні вимоги до розробки сучасних ґрунтообробних машин незалежно від умов апріорної невизначеності та умов функціонування, повинні забезпечувати якісні показники обробітку ґрунту. Під умовами апріорної невизначеності розуміють зміну гранулометричного складу ґрунту, щільності та структури як вхідних параметрів залежно від агрокліматичного розташування оброблюваної ділянки [16, 17].

Очевидно, що підвищення якості обробітку ґрунту може бути вдосконалено потоковою системою адаптації ґрунтообробних машин на основі завдання АТЕК [18, 19, 20, 21].

Алгоритм потокової адаптації МТА може бути формалізований під впливом сукупності керуючих дій до виконавчих органів, враховуючи сигнали зовнішніх датчиків та команд, що поступають від вимірювальних пристроїв. Тому, наступною складовою адаптивної багатофакторної системи визначено системоаналогову модель МТА з елементами потокової адаптації робочих органів ґрунтообробних машин (Рис. 2).

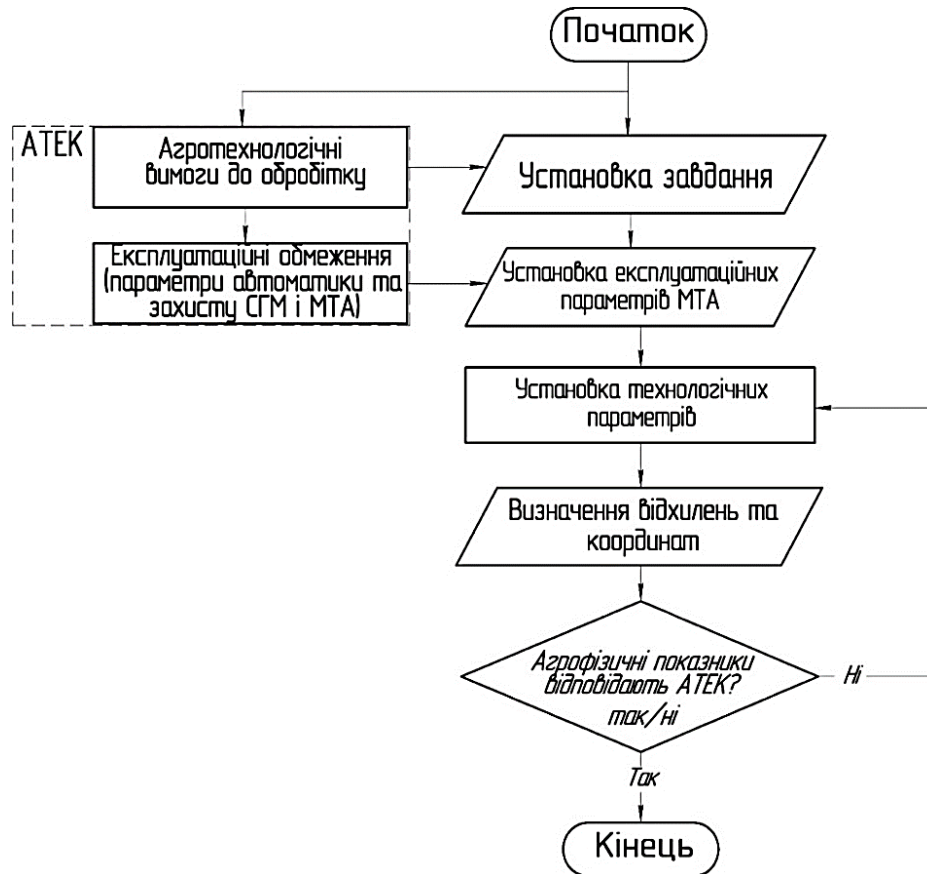


Рис.1. Алгоритм потокової адаптації МТА за технологічним процесом обробки ґрунту

Дана модель може бути типовою для сільськогосподарських агрегатів у схемі «АТЕК – Інформаційно-керуючий засіб (ІКЗ) – Трактор - ґрунтообробний агрегат - робочий орган - засіб контролю – ІКЗ» з урахуванням керуючих дій  $U$  та значень відхилень  $\varepsilon$  агрофізичних параметрів.

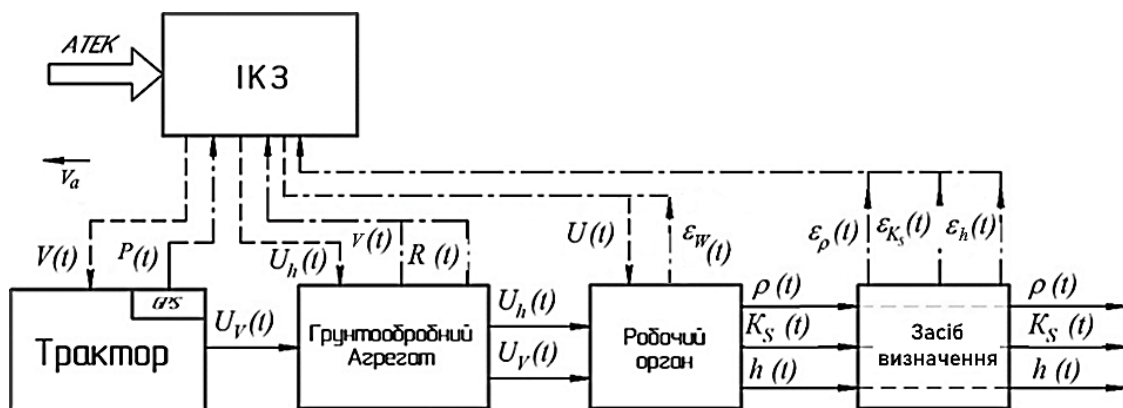


Рис. 2. Системоаналогова модель МТА з потокової адаптації ґрунтообробних машин:

$U(t)$  – значення параметрів управління;  $V(t)$  – задана швидкість трактора;  $h(t)$  – глибина обробки);  $V_a(t)$  – робоча швидкість МТА;  $\varepsilon(t)$  – значення відхилень агрофізичних параметрів;  $R(t)$  – тяговий опір агрегата;  $\varphi(t)$  – вологість ґрунту;  $\rho(t)$  – щільність ґрунту;  $K_s(t)$  – коефіцієнт структурності ґрунту;  $P(t)$  – GPS координата;  $v(t)$  – фактична швидкість агрегата

Деталізація потокової адаптивної системи управління робочими органами агрегату визначається структурними схемами (Рис. 3), що моделюють управління процесом регулювання агрофізичних показників ґрунту.

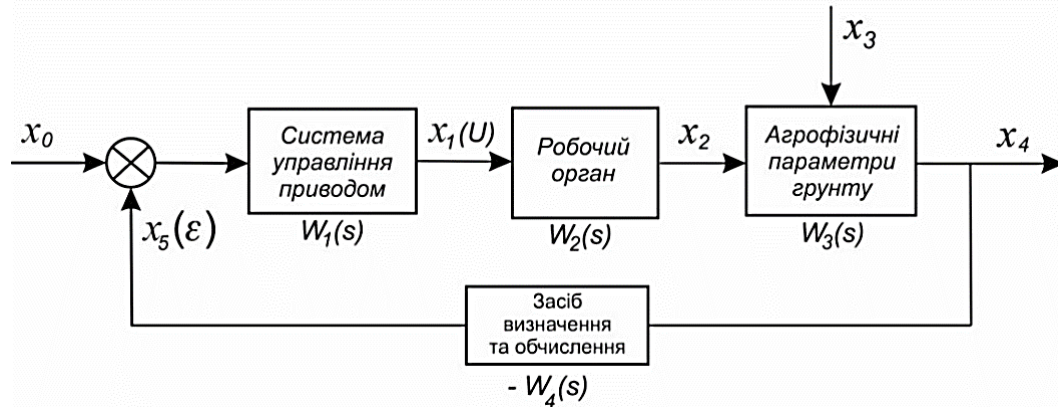


Рис. 3. Структурна схема потокової системи адаптації керування в розгорнутому вигляді

Перед початком роботи система встановлює задані в АТЕК технологічні параметри обробітку ґрунту  $X_0$  ( $\rho_0, K_{s,0}, V, h_0, \varphi$ ) та GPS координати необхідні для визначення типу ґрунту. Під час обробітку система аналізує поточно визначені параметри  $X_4$  (щільність  $\rho$ , коефіцієнт структурності  $K_s$ , фактичну швидкість  $V$ , глибину  $h$  та вологість  $\varphi$ ), виконує розрахунок відхилення  $\varepsilon$ , визначає та встановлює значення параметрів управління  $U$  що утворюють вихідні агрофізичні параметри ґрунту  $x_4$ . Зовнішніми збуреннями  $x_3 \in$  фізичний склад, вологість та фактична швидкість (Рис. 4).

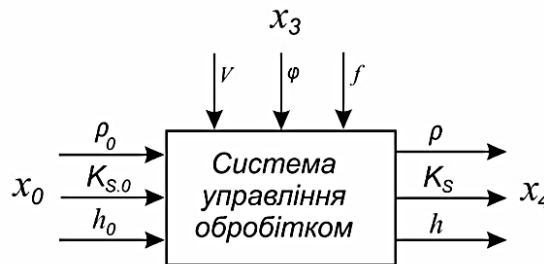


Рис. 4. Схематичне представлення багатомірної системи управління обробітком ґрунту

Для розробки структурної матриці досліджуваною множиною є об'єкти, що виражені матричними коефіцієнтами системи лінійних рівнянь. Імена таких об'єктів ідентифікуються у вигляді послідовності індексів, що відображають топологічні властивості елементів матриць [13].

Кутовими стрілками в блоках показано зв'язки між регуляторами у відповідності до структурної схеми замкнутого циклу регулювання. Подвійними стрілками - керуючі дії що потребують енергетичного впливу на виконавчі механізми. Шляхом заміни кутових стрілок на відповідні коефіцієнти координатної матриці (Рис. 5) систему потокового управління можна виразити матричними рівнянням.

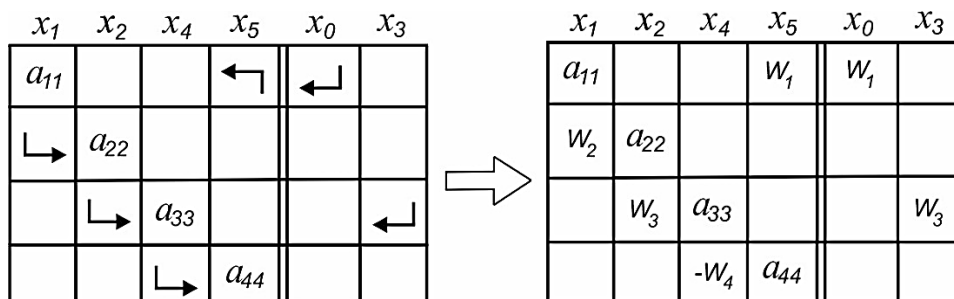


Рис. 5. Схема перетворень структурної матриці потокової системи управління обробітком ґрунту

В розгорнутій формі запису незалежні параметри потокової системи управління обробітком ґрунту можуть бути представлені системою рівнянь :



$$\left. \begin{aligned} x_1 &= W_1(x_0 + x_5); \\ x_2 &= W_2 \cdot x_1; \\ x_4 &= W_3(x_2 + x_3); \\ x_5 &= -W_4 \cdot x_4. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Система рівнянь (1) у впорядкованому вигляді для застосування метода Крамера:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_4 + W_1 \cdot x_5 &= W_1 x_0; \\ W_2 \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 &= 0; \\ 0 \cdot x_1 + W_3 \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 &= W_3 \cdot x_3; \\ 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 - W_4 \cdot x_4 + a_{44} \cdot x_5 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Головний визначник:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & W_1 \\ W_2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & W_3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -W_4 & 1 \end{vmatrix} = 1 + W_1 W_2 W_3 W_4; \quad (3)$$

Оскільки головний визначник системи відмінний від нуля, система має наступні вирішення:

$$x_4 = \frac{\Delta_4}{\Delta} \cdot x_0, \quad (4)$$

Визначник  $\Delta_4$ :

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & W_1 & W_1 \\ W_2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & W_3 & W_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = W_3(1 - W_1 W_2); \quad (5)$$

Вирішене рівняння для координат завдання  $x_4$  матиме вигляд:

$$x_4 = \frac{W_3(1 - W_1 W_2)}{1 + W_1 W_2 W_3} \cdot x_0. \quad (6)$$

Для дослідження математичної моделі необхідно дослідити функції та параметри управління та зовнішніх умов що можуть описати технологічні процеси обробітку ґрунту. Методи таких досліджень повинні базуватись на дослідженнях нелінійних рівнянь стану ґрунту на основі інваріантних систем основна мета яких встановити залежності зміни фазового стану від зовнішніх умов  $x_3$  та дії робочих органів  $x_3$ .

Для подальшого прийняття рішення стосовно застосування потокової системи адаптації МТА необхідно провести моделювання. Для дослідження системи адаптивного керування в першому приближенні обрано моделі структурних блоків першого та другого порядку (Рис. 6).

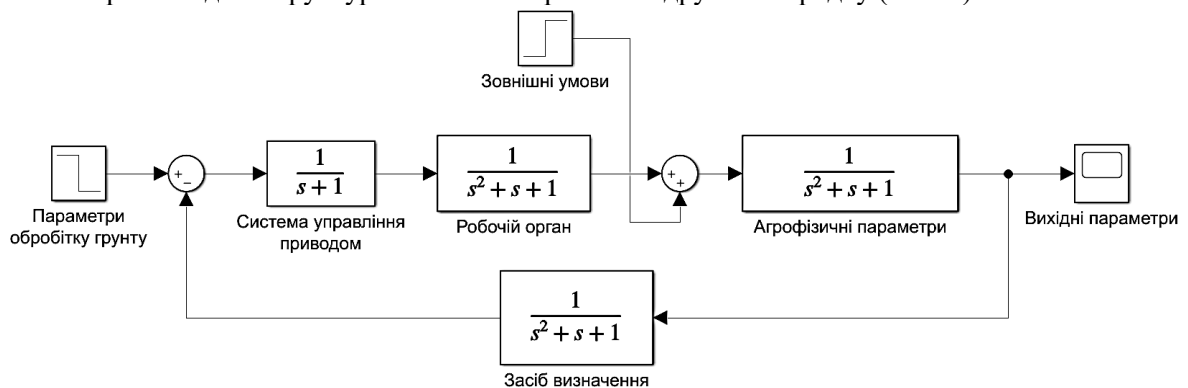


Рис. 6. Структурна схема потокової системи адаптації керування в середовищі Simulink

При розробці систем адаптації керування обробітком ґрунту основну увагу необхідно приділяти моделям зміни агрофізичних параметрів що потребують досліджень залежно від доступних технічних засобів автоматизації, складності процесу та технологічних вимог до обробітку. Для подальших досліджень блоків структурних ланок необхідно провести лінійний аналіз перехідних процесів та амплітудно-часових характеристик (Рис. 7).

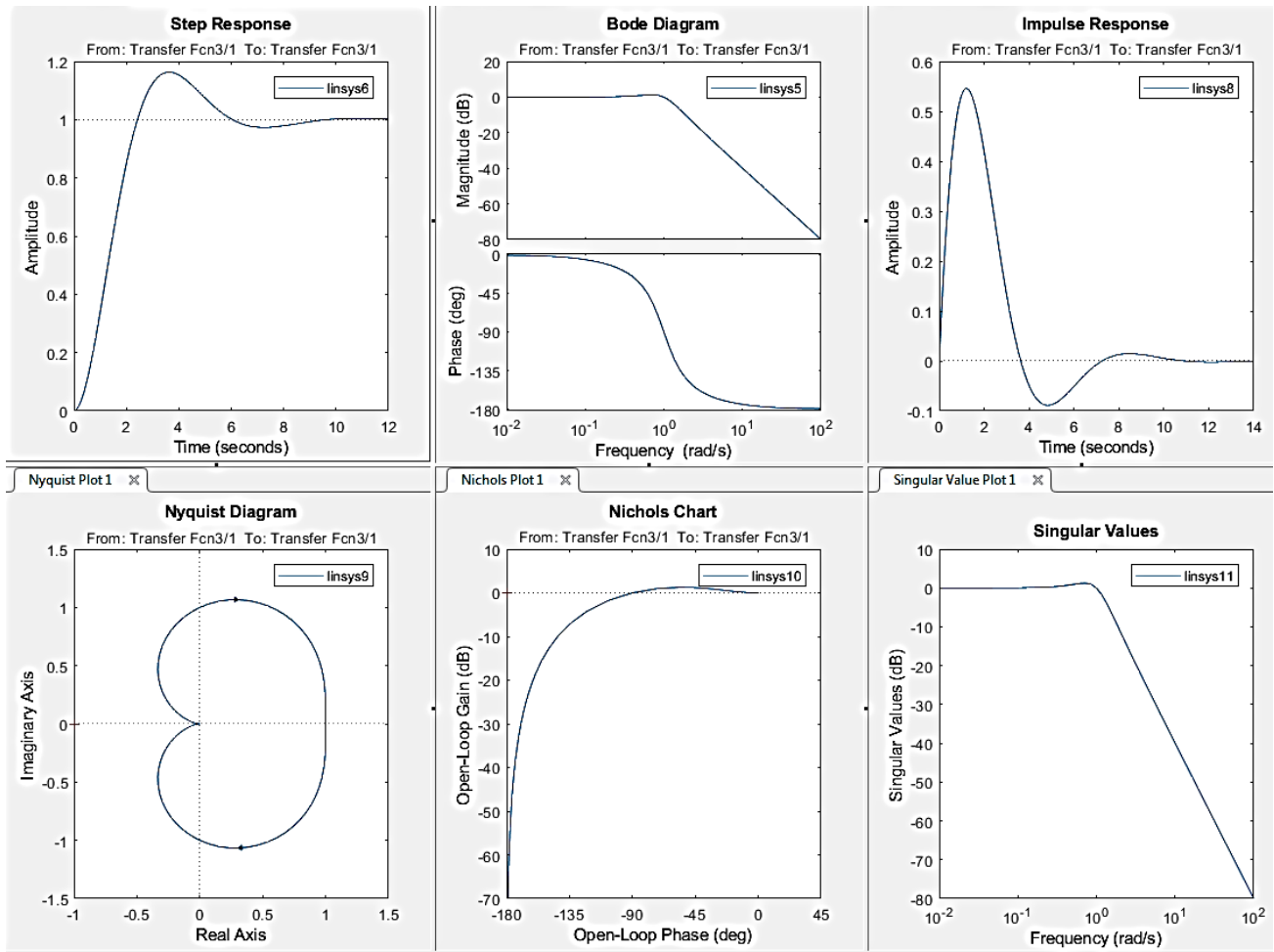


Рис. 7. Результати моделювання потокової системи адаптації керування в середовищі Simulink

Результати моделювання системи адаптації в першому приближенні можуть бути широко використані при аналізі динамічних ланок та систем для МТА але формальна побудова даних характеристик повною мірою залежить від моделей поведінки фазового стану ґрунту.

## 5. Висновки

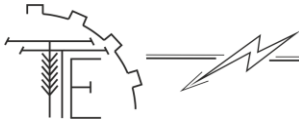
Дослідження систем адаптивного управління методами теорій автоматичного регулювання дозволили виконати проектування потокової системи керування обробком ґрунту з вхідними параметрами агротехнічних електронних карт.

Дослідження потокової системи керування методом структурних матриць дозволило відобразити адаптацію у вигляді рівняння що регламентує зв'язки між агрофізичними, конструкційними та технологічними параметрами робочих органів ґрунтообробних машин.

Для підвищення точності регулювання може бути виконано на основі визначеного відхилення між параметрами нелінійних рівнянь що характеризують агрофізичні показники ґрунту і отримані методами апроксимації та порівняння на основі визначення.

## Список використаних джерел

1. Tehen Anja-Kristina, Helming K. Pressures on soil functions from soil management in Germany. A foresight review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2017. Vol. 37 (64). P. 1–29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0473-3>.
2. Laurentiu V., Cardei P., Vladut V., Lucian F. Modern trends in designing and selecting the machine/equipment for deep soil tillage. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16 (320). P. 1415–1420. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDEV2017.16.N320>.
3. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Іщенко В. В. Сільськогосподарські машини : підручник. К.: «Агроосвіта», 2015. 679 с.



4. Кравчук В. І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин: монографія. К.: НАУ, 2005. 208 с.
5. Кравчук В. І. Системоаналогове моделювання для оптимізації принципів побудови загальних структур та параметрів сільгоспмашин. *Механізація та електрифікація с-г. ННЦ ІМЕСГ*. 2001. Вип. 85. № 1-2. С. 34–40.
6. Kravchuk V., Targonya V., Haydai T., Golub G., Kukharets S., Ivanuita M. Methodology and model of ecological and economic management of agricultural technologies. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for the agriculture in Ukraine*. 2020. Vol. 27 (41). P. 142–152. DOI: [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27\(41\)-13](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-13).
7. Завгородний А. Ф., Кравчук В. И., Юрчук В. П. Геометрическое конструирование рабочих органов корнеуборочных машин. К.: Аграрна наука, 2004. 240 с.
8. Zolghadri Marc, Florent Couffin, Vincent Cheutet, Caroline Bourcier, Roberta Costa Affonso, Patrice Leclaire. Structuring systems and related research challenges. *IFAC Proceedings*. 2013. Vol. 46, Issue 24, P. 190–197. DOI: <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00017>.
9. Geoff Walsham, Chun-Kwong Han. Structuration Theory And Information Systems Research. *ICIS 1990 Proceedings*. 1990. Vol. 7. P. 53–59. URL: <https://aisel.aisnet.org/icis1990/7>
10. Lobb D. A. Soil Movement by Tillage and Other Agricultural Activities. *Encyclopedia of Ecology*. 2008. P. 3295–3303. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00832-6>.
11. Іванюта М. В. Числове дослідження процесу взаємодії поверхні гладкого котка з ґрунтом. *Вісник ВПІ*. 2015. Вип. 5. С. 128–133.
12. Soyunov Aleksey, Sabiev U., Golovin A., Prokopov Sergey, Abdylmanova R. The Ways to Improve the Efficiency of Agricultural Enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032105>.
13. Кононюк А. Е. Дискретно-безперервна математика. Матриці. К.: "Освіта України", 2011. 612 с.
14. Steven H., Weintraub. A Guide to Advanced Linear Algebra. Lehigh University. *Dolciani Mathematical Expositions*. 2011. Vol. 44. DOI: <https://doi.org/10.5948/UPO97808883859674>.
15. Кравчук В. І. Баранов Г. Л. Методика розрахунку оптимальних програмних керувань на основі дискретних моделей та синтез замкнутих законів керування сільськогосподарськими машинами та агрегатами. *Механізація виробничих процесів рибогосподарських, промислових і сільськогосподарських підприємств. зб. наукових праць Керченського технолу. пр.* 2002. Вип. 3. С. 34–40.
16. Якість ґрунтів. Показники родючості : ДСТУ 4362 2004. [Чинний від 2004-09-12]. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 20 с. (Національний стандарт України).
17. Saleh A. Al-Suhaibani, Abdulrahman Al-Janobi. Draught Requirements of Tillage Implements Operating on Sandy Loam Soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1997. Vol. 66 (3). P. 177–182. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0130>.
18. Ucgul M, Chang C-L. Design and Application of Agricultural Equipment in Tillage Systems. *Agriculture*. 2023. Vol. 13 (4). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13040790>
19. Zybarev Y. N., Fomin D. S. Modern approaches to adaptive tillage complexes in crop rotation and intensive land use in the Middle Urals. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 222. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202058>.
20. Qu Y., Pan C., Guo H. Factors Affecting the Promotion of Conservation Tillage in Black Soil The Case of Northeast China. *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (17). 9563. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179563>.
21. Han Q., Siddique KHM, Li F. Adoption of Conservation Tillage on the Semi-Arid Loess Plateau of Northwest China. *Sustainability*. 2018. Vol. 10 (8). P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10082621>.
22. Ivaniuta M., Kravchuk V., Ramus M. Forecast for the Adaptive Tillage System. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*. 2023. Vol. 2 (7). P. 193–199. DOI: [10.55677/ijlsar/V02I07Y2023-06](https://doi.org/10.55677/ijlsar/V02I07Y2023-06).

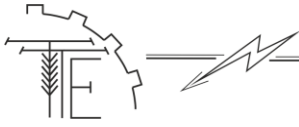
### References

- [1] Techen, Anja-Kristina, Helming, K. (2017). Pressures on soil functions from soil management in Germany. A foresight review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (64), 1–29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0473-3>. [in English].



- [2] Laurentiu, V., Cardei, P., Vladut, V., Lucian, F. (2017). Modern trends in designing and selecting the machine/equipment for deep soil tillage. *Engineering for Rural Development*, 16 (320), 1415–1420. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDEV2017.16.N320>. [in English].
- [3] Voytyuk, D.G., Aniskevich, L.V., Ishchenko, V.V. (2015). *Agricultural machines*. Kyiv: "Agroeducation". [in Ukrainian].
- [4] Kravchuk, V.I. (2005). *Theoretical foundations of adaptation of agricultural machines*. Kyiv. National Agrarian University. [in Ukrainian].
- [5] Kravchuk, V.I., Baranov, G.L. (2001). Methodology for building discrete models of agricultural machinery operating modes. *Agrarian science and education*, 85 (1-2). 34–40. [in Ukrainian].
- [6] Kravchuk, V., Targonya, V., Haydai, T., Golub, G., Kukharets, S., Ivanuita, M. (2020). Methodology and model of ecological and economic management of agricultural technologies. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for the agriculture in Ukraine*, 27 (41), 142–152. DOI: [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27\(41\)-13](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-13). [in English].
- [7] Zavhodnii, A.F., Kravchuk, V.I., Yurchuk, V.P. (2004). *Geometric design of working bodies of root harvesting machines*. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].
- [8] Zolghadri, Marc, Florent, Couffin, Vincent, Cheutet, Caroline, Bourcier, Roberta, Costa Affonso, Patrice, Leclair. (2013). Structuring systems and related research challenges. *IFAC Proceedings*, 46 (24), 190–197. DOI: <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00017>. [in English].
- [9] Geoff, Walsham, Chun-Kwong, Han. (1990). Structuration Theory And Information Systems Research. *ICIS 1990 Proceedings*, 7, 53–59. URL: <https://aisel.aisnet.org/icis1990/7>. [in English].
- [10] Lobb, D.A. (2008). Soil Movement by Tillage and Other Agricultural Activities. *Encyclopedia of Ecology*. 3295–3303. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00832-6>. [in English].
- [11] Ivanuita, M.V. (2015). Numerical study of the process of interaction between the surface of a smooth roller and the soil. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Inst*, 5, 128–133. [in Ukrainian].
- [12] Soyunov, Aleksey, Sabiev, U., Golovin, A., Prokopov, Sergey, Abdylmanova, R. (2021). The Ways to Improve the Efficiency of Agricultural Enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 937, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032105>. [in English].
- [13] Kononiuk, A.E. (2011). *Dyskretno-bezperervna matematyka. Matrytsi*. K.: "Osvita Ukrainy". [in Ukrainian].
- [14] Steven H., Weintraub. (2011). A Guide to Advanced Linear Algebra. Lehigh University. *Dolciani Mathematical Expositions*, 44. DOI: <https://doi.org/10.5948/UPO9780883859674>. [in English].
- [15] Kravchuk, V.I., Baranov, G.L. (2002). The method of calculating optimal software controls based on discrete models and the synthesis of closed-loop control laws for agricultural machinery and aggregates. *Mechanization of production processes of fish farming, industrial and agricultural enterprises. Coll. Science Proceedings of Kerch Technol. Etc*, 3, 34–40. [in Ukrainian].
- [16] DSTU 4362:2004. Soil quality. (2005). Indicators of soil fertility. [Valid from 2006-01-01]. Kyiv: "State Consumer Standard of Ukraine". [in Ukrainian].
- [17] Saleh, A. Al-Suhaibani, Abdulrahman, Al-Janobi (1997). Draught Requirements of Tillage Implements Operating on Sandy Loam Soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66 (3), 177–182. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0130>. [in English].
- [18] Ucgul, M, Chang C-L. (2023). Design and Application of Agricultural Equipment in Tillage Systems. *Agriculture*, 13 (4). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13040790>. [in English].
- [19] Zybarev, Y.N., Fomin, D.S. (2020). Modern approaches to adaptive tillage complexes in crop rotation and intensive land use in the Middle Urals. *E3S Web of Conferences*, 222, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202058>. [in English].
- [20] Qu, Y., Pan, C., Guo, H. (2021). Factors Affecting the Promotion of Conservation Tillage in Black Soil The Case of Northeast China. *Sustainability*, 13 (17), 9563. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179563>. [in English].
- [21] Han, Q., Siddique, KHM, Li F. (2018). Adoption of Conservation Tillage on the Semi-Arid Loess Plateau of Northwest China. *Sustainability*, 10 (8), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10082621>. [in English].
- [22] Ivaniuta, M., Kravchuk, V., Ramus, M. (2023). Forecast for the Adaptive Tillage System. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*, 2 (7), 193–199. DOI: 10.55677/ijlsar/V02I07Y2023-06. [in English].



**MODELING OF THE FLOW ADAPTIVE SYSTEM FOR CONTROLLING THE SOIL TILLAGE**

*It is well known that one of the significant disadvantages of the development of modern technological processes is the use of aspects of thinking associated with the use of already used design positions. From a practical point of view, there is no single optimal solution for tillage in agriculture. The methodology for solving complex, multipolar problems of quality and efficiency of technology must take into account a significant number of factors and be presented in an accessible form for the response of the working bodies of tillage machines.*

*Precision tillage has great potential. The result of tillage operations can be improved depending on the optimal solution of construction working bodies and technological parameters of cultivating, which, in addition, can be adapted to the tillage technology depending on the local agro-climatic conditions.*

*The article presents the results of the synthesis of the system of adaptive control of soil cultivation by creating a complex technological system with modeling of the structural-matrix schemes and on-stream technological influences of working bodies of machines and external agro-climatic conditions on the agrophysical state of the soil.*

*The research methods are methods of analysis of structural schemes of technological process control systems; system-analog modeling of tillage control systems; structural analysis and synthesis of technological changes in agrophysical indicators of soil tillage.*

*The main results are the structural diagram of the on-stream adaptive control system of the tillage unit for the requirements of precise agriculture; matrix diagram of the imaging and generalized system of equations of on-stream adaptive control of working bodies of tillage machines; system-analog model of the machine-tractor unit with the adaptive control system of working bodies.*

**Key words:** *tillage control machines, adaptive control, matrix modeling, matrix imaging, structural modeling.*

**F. 6. Fig. 7. Ref. 22.**

**ВІДОМОСТЬ ПРО АВТОРА**

**Іванюта Михайло Васильович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник лабораторії науково-технічного забезпечення технологій виробництва, переробки та використання біомаси Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (м. Київ, вул. Клінічна 25, ur6hdc@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2180-1929>).

**Mykhailo Ivaniuta** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the laboratory of scientific and technical support of technologies of production, processing and use of biomass, The Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (03110. Kyiv, Klinichna str. 25, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0002-2180-1929>).