



УДК: 621.3:004.5

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-3-3

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Солона Олена Василівна, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

Olena Solona, Ph.D. of Eng., Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Ключовою групою в складі інновацій з позиції сталого розвитку є технологічні інновації, які представлені нововведеннями в технології або (інновація-процес). Вони лежать в основі задоволення зростаючих потреб суспільства, підвищення ефективності виробництва, зміни моделей і поколінь техніки та технологічних способів виробництва.

Сучасне сільське господарство не можна уявити без використання ІТ-технологій. Сьогодні роботизація сільського господарства неминуха.

Сільське господарство виграє від революції в галузі інформаційно-комунікаційних технологій, що відбувається в усіх галузях: роботизація, сенсорне сприйняття, більш інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, аналітика даних і т.п. Для геопросторової галузі роботизація польових робіт є особливо важливим завданням. Це величезна операція з управління роботами – на колесах або у повітрі – з використанням навігаційних систем і датчиків, для зберігання всіх даних та їх інтеграції у відповідні додатки.

Технологічне оновлення аграрного сектору економіки, зазвичай, базується на використанні високотехнологічних систем управління, моніторингу, контролю, управління та автоматизації виробничих процесів, із застосуванням високоінтегрованих SMART-систем та залученням технологій штучного інтелекту. Враховуючи значні обсяги вантажопереробки, сільськогосподарського підприємства, зокрема в складських приміщеннях, перспективним напрямком та резервом забезпечення високої продуктивності праці є використання роботизованих маніпуляторів, а дослідження присвячені підвищенню їх функціональності та маневреності, в тому числі за рахунок використання інтелектуальних систем управління та оптимізації структури виконавчих механізмів є актуальними та матимуть практичну цінність.

В статті обґрунтовано кінематичні параметри та динамічні характеристики ангулярного маніпулятора.

Ключові слова: адитивні технології, робоча зона, комп'ютерна модель, маневреність, ступінь вільності, сільськогосподарські роботи, роботизовані маніпулятори.

Ф. 5. Рис. 8. Літ. 11.

1. Постановка проблеми

Сільськогосподарські роботи призначені для автоматизації трудомістких і монотонних процесів в сільському господарстві. В даний час здійснюється інтенсивна розробка таких роботів, що знаменує початок роботизації сільськогосподарського виробництва [1].

Як дивно це не прозвучить, але розвинені країни відчувають дефіцит робочої сили в сільському господарстві. Адже мова йде про кваліфіковані кадри, а не про тимчасових співробітників. Саме це сприяє активному росту роботизації сільського господарства. І без того вельми вимоглива до високих технологій галузь вимагає все нових рішень. [5, 8, 9]

Використання роботів в сільському господарстві може зіткнутися з такими проблемами:

- Роботи повинні бути оснащені системами розпізнавання людей і «бути готові» до нештатних ситуацій за участю людей. Інакше можуть бути нещасні випадки під час роботи такої техніки.
- Територія, на якій повинна працювати подібна безпілотна техніка, дуже різноманітна і неоднорідна, що може викликати складності в її роботі, в тому числі і на етапі пошуку регіону обробки.
- Складнощі можуть виникати і при спробах ідентифікації об'єктів обробки і просто сторонніх об'єктів. Як вже видно, вищевикладені пункти більше відносяться до роботи системи «штучного інтелекту». Це є проблема програмістів, забезпечити ефективні і одночасно безпечні алгоритми роботи подібної техніки.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ведення традиційного рослинництва передбачає систематичний збір та аналіз показників агроєкологічних умов, з метою прийняття управлінських рішень, стосовно застосування тих чи інших агротехнічних прийомів, та формування сприятливих умов для повноцінного розвитку рослин, із врахуванням таких факторів, як температура та вологість ґрунту і навколишнього середовища, інтенсивність світла, забур'яненість ділянки та ступінь ураження шкідниками чи хворобами тощо [7]. Потреба в підвищенні ефективності господарської діяльності сільськогосподарських підприємств, зумовлює впровадження сучасних техніко-технологічних рішень, які базуються на використанні високотехнологічних систем контролю, моніторингу, керування та автоматизації виробничих процесів. Ключовим компонентом цього підходу є використання широкого спектру технологій, таких як системи глобального позиціонування (GPS, ГЛОНАСС), системи управління, сенсорні системи контролю та моніторингу, безпілотні літальні апарати, високоінтегровані SMART-системи, системи штучного інтелекту, а також робото-технічні системи.

Важливими факторами, від яких залежать рентабельність виробництва та якість кінцевої продукції є своєчасність, достовірність, і, достатня для валідності подальшої оцінки стану й висновків, повнота одержаної агроєкологічної інформації, при умові забезпечення структурно-функціональної оптимальності застосовуваної інтелектуальної системи моніторингу [6].

3. Виклад основного матеріалу

В умовах сьогодення, механічні маніпулятори виступають у ролі основних типів виконавчих систем промислових роботів та являють собою просторові механізми у вигляді кінематичних ланцюгів, до складу яких входять ланки, кінематичні пари та системи приводів, зазвичай окремих для кожного ступеня вільності.

В загальному випадку, конструкцією сучасних промислових роботів передбачено використання низки функціонально подібних структурних елементів, які утворюють дві основні підсистеми робота: механічну (маніпулятор) та систему керування.

Маніпулятор, як механічна система, являє собою керований багатоланковий просторовий механізм, основними компонентами якого є виконавчий пристрій, що приводить в дію робочий орган, відповідно до заданих законів руху, що в підсумку дозволяє виконання потрібних технологічних операцій.

Ангулярний тип представляє собою шарнірний маніпулятор, який іноді також називають зчленованим, ліктьовим або антропоморфним маніпулятором. Вони, як правило, складаються з двох «плечових» суглобів, одного для обертання навколо вертикальної осі та одного для підняття з горизонтальної площини, «ліктьового» суглоба, вісь якого, як правило, паралельний плечовому суглобу та двох або трьох суглобів «зап'ястя» на кінці маніпулятора. Тому такий робот нагадує руку людини. Його зона обслуговування значно більша, ніж у маніпуляторів інших типів. Він здатний обходити перешкоди набагато різноманітнішими шляхами і навіть складатися, але разом з тим він виключно складний в управлінні.

Серед численної кількості технічних характеристик маніпулятора (рис. 1.), на основі яких здійснюють оцінку ефективності та придатності для виконання поставлених завдань, особливо важливими показниками, що визначають функціональність робота-маніпулятора є ступінь рухомості, маневреність та об'єм зони обслуговування (робочої зони маніпулятора).



Рис. 1. Основні технічні характеристики робота-маніпулятора



Для просторових механізмів ступінь рухомості визначається за формулою Сомова-Малишева [11]:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (1)$$

де n – число рухомих ланок механізму; p_i – кількість кінематичних пар відповідного класу.

Маневреністю маніпулятора називають його число ступенів вільності при нерухомому захваті.

Аналіз конструктивних особливостей та маневреності різних схем маніпуляторів показує, що маневреність залежить не тільки від кількості ступенів вільності захвату, а й від розташування кінематичних пар. Підвищення маневреності маніпулятора дозволяє виконувати рухи більш високих класів та збільшує свободу дії оператора при виконанні потрібних переміщень.

Тип і параметри робочої зони маніпулятора визначають область навколишнього простору, у межах якої він може здійснювати маніпуляції, не пересуваючись, тобто при нерухомій основі.

Робоча зона маніпулятора – це простір, у якому може перебувати його робочий орган при всіх можливих положеннях ланок маніпулятора. Форма робочої зони визначається системою координат, у якій здійснюється рух робочого органу маніпулятора, і числом ступенів вільності маніпулятора.

Перед дослідженням тривимірної моделі конструкції маніпулятора необхідно розробити його структурну кінематичну схему. Було вирішено розробити маніпулятор ангулярного типу, тому обертальні кінематичні пари найбільш прості в конструкції і легко реалізовані, також така конструкція має досить велику робочу зону і своєю гнучкістю дозволяє обходити деякі перешкоди. Щоб захватний пристрій захоплював об'єкти правильно, він повинен бути спрямований в певній орієнтації, для цього в кінематичну схему доданий спеціальний механізм для утримання захватного пристрою в незмінній орієнтації. [10, 11.]

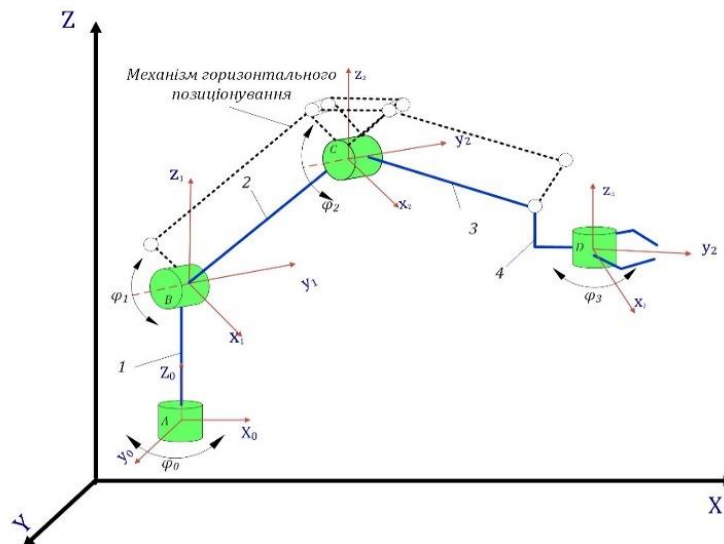


Рис. 2. Структурно - кінематична схема ангулярного маніпулятора:
1 – основа; 2 – плече; 3 – передпліччя; 4 – кисть; XYZ – базова система координат;
 $x_0y_0z_0$ – локальні системи відліку; φ_i – кутова координата положення i -ї ланки в системі $x_0y_0z_0$ (поворот i -ї ланки відносно $(i-1)$).

У цій кінематичній схемі використовуються деякі додаткові ланки і елементи, які утворюють паралельний механізм, що дозволяє захватному пристрою маніпулятора залишатися завжди паралельно основі незалежно від того, на які кути φ_0 , φ_1 і φ_2 , φ_3 повернуться ланки маніпулятора. На (рис. 3.) (а, б, в, г) показаний принцип роботи паралельного механізму, на якому видно що при зміні кута повороту ланок, захватний пристрій робота зберігає паралельне положення щодо основи. Дана властивість зручна для захоплення, переміщення і встановлення об'єкта в нове положення, при цьому зберігається його вертикальна орієнтація. [1-4, 11.]

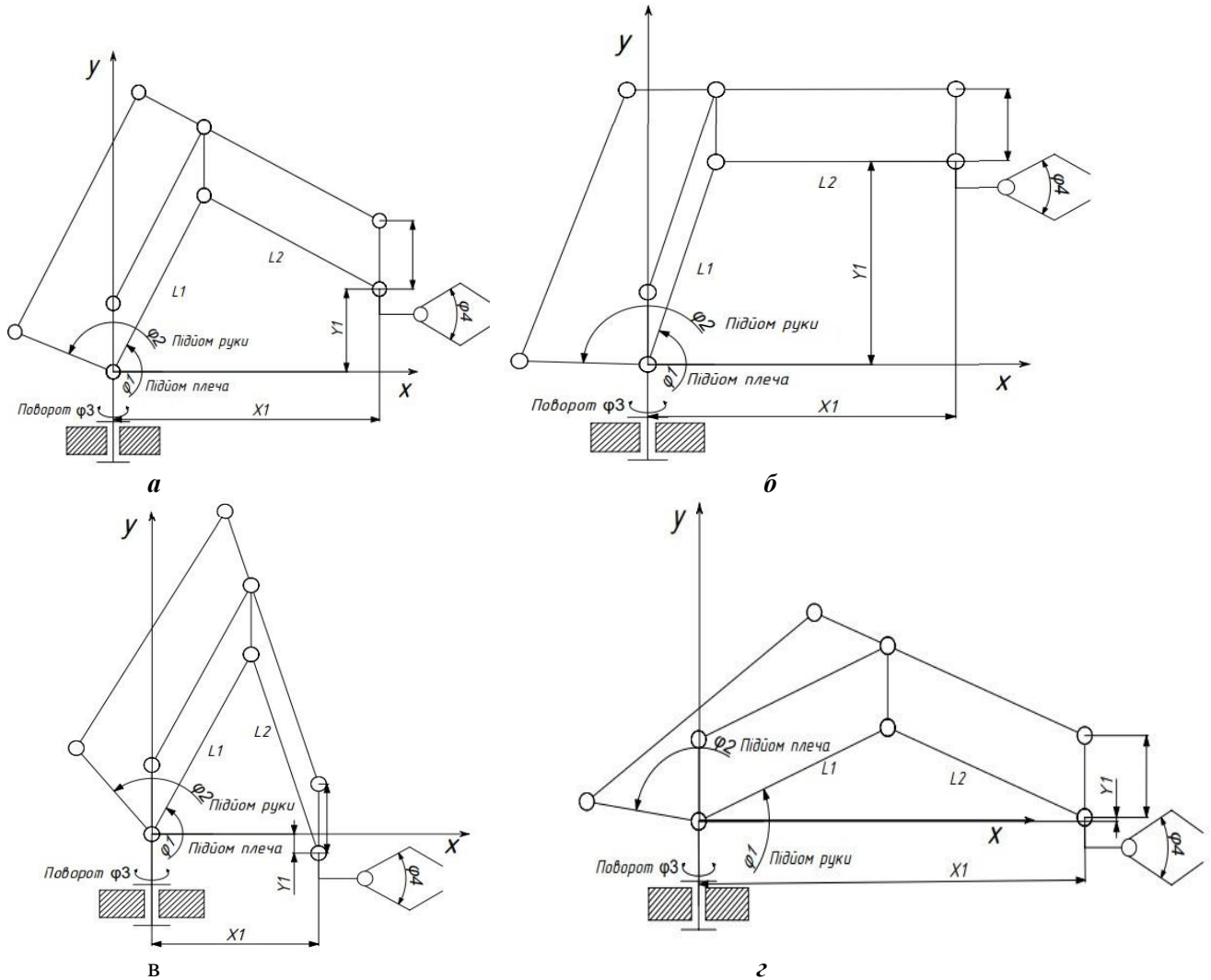


Рис. 3. Принцип роботи паралельного механізму

Для виконання кінематичного дослідження можна використати спрощену кінематичну схему (рис.4.), адже робот здійснює плоско-паралельне переміщення захватного пристрою.

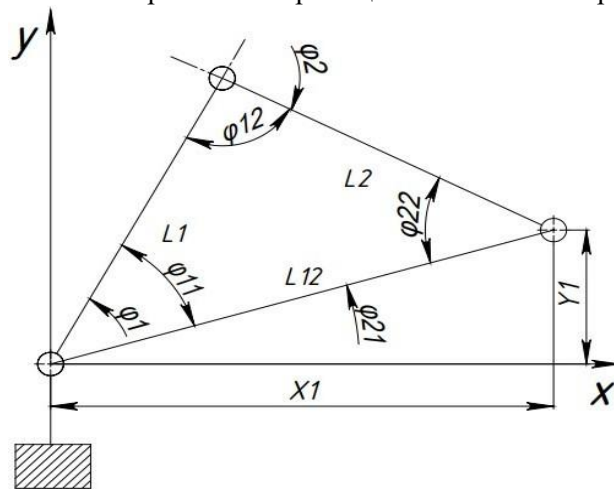


Рис. 4. Спрощена кінематична схема лабораторного маніпулятора

Маніпулятор має 2 ланки $L1$ та $L2$, а також 2 кінематичні пари обертового типу, що працюють в одній площині. Шляхом повороту на кути ϕ_1 та ϕ_2 здійснюється переміщення кінематичних пар.



За рахунок обертання маніпулятора на кут φ_3 відносно осі Y виконується переміщення у тривимірному просторі, тому розглянемо переміщення маніпулятора в одній площині [11].

Перша ланка $L1$ закріплена на основі і обертається на кут φ_1 , а друга ланка $L2$ кріпиться на кінці першої і обертається щодо неї на кут φ_2 . Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці 2 ланки.

Треба знайти такі кути φ_1 і φ_2 , які дозволять маніпулятору із ланками $L1$ і $L2$ помістити робочий орган в задану точку (x, y) , що можна зробити за допомогою зворотної задачі кінематики.

Виходячи з того, що $L_{12}^2 = x^2 + y^2$, $\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{21}$, тавикористовуючи теорему косинусів, знаходимо:

$$1 = \arccos\left(\frac{x}{L_{12}}\right) + \arccos\left(\frac{L1^2 - L2^2 + L_{12}^2}{2 * L1 * L2}\right) \quad (2)$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos\left(\frac{L1^2 + L2^2 - L_{12}^2}{2 * L1 * L2}\right) \quad (3)$$

Звідси, для координат $(x, y) = (50, 50)$:

$$\varphi_1 = \arccos(50 / 70) + \arccos((6400 - 6400 + 5000) / 2 * 70 * 80) = 107^\circ \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((6400 + 6400 - 5000) / 2 * 80 * 80) = 127^\circ \quad (5)$$

Отже переміщення робочого органу в точку (x, y) здійснюється шляхом повороту кінематичних пар згідно отриманих значень φ_1 і φ_2 . [6.7.8.]

Дослідження динамічних характеристик ангулярного маніпулятора було проведено у програмі SolidWorks, а саме за допомогою додатку SolidWorks Motion та 3D моделі у цій програмі.

Визначали динамічні характеристики в точках повороту ланок маніпулятора φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 при різних його положеннях і пересування, адже в цих точках розташовані серводвигуни.

Для визначення динамічних характеристик в точках φ_1 і φ_2 було задано рух ланок моделі маніпулятора таким чином, що він рухається у 3 різних напрямках, при цьому середня кутова швидкість повороту кожної ланки становила 1.57 рад / с, досягнув кожного положення маніпулятор зупинявся на 0.5 секунд.

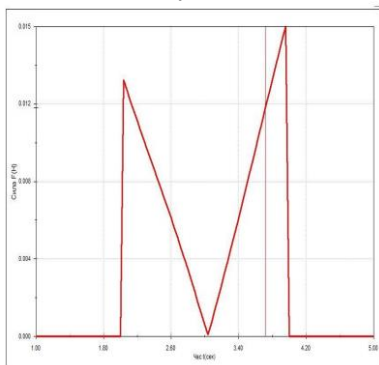


Рис. 5. Параметр сили у точці φ_1 .

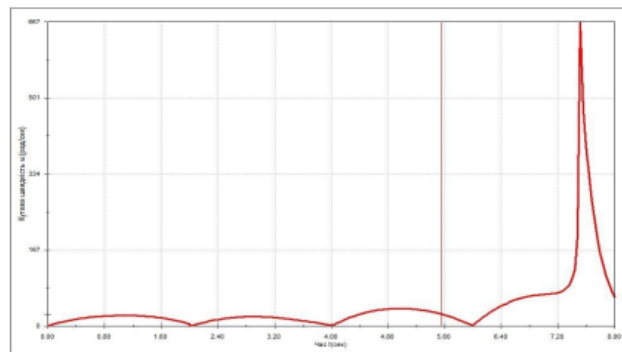


Рис. 6. Параметр кутової швидкості у точці φ_1

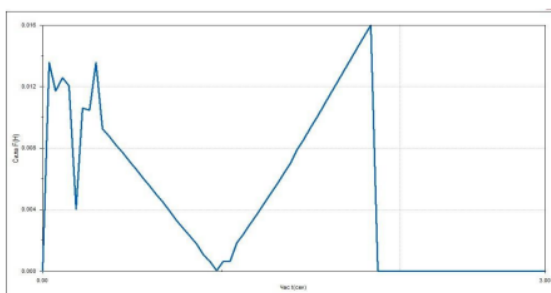


Рис. 7. Параметр кутового прискорення у точці φ_1

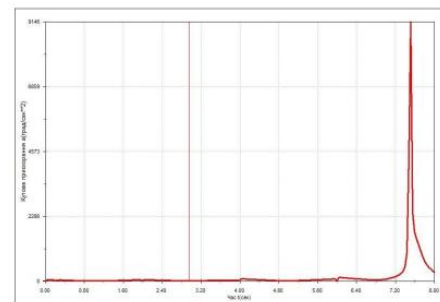


Рис. 8. Параметр сили у точці φ_2

На рисунках 5-8 зображені динамічні характеристики маніпулятора у точці φ_2 за невеликий проміжок часу. Якщо порівняти отримані результати у двох різних точках можна побачити, що результати є дуже схожими між собою, та це і не дивно, адже для руху в цих точках використовуються однакові серводвигуни, також ці двигуни відповідають за рух руки маніпулятора в одній площині. Варто зауважити, що в динамічних дослідженнях кутова швидкість змінюється плавно, а крутий момент в середньому не перевищує 1 Н*м, що є припустимим навантаженням реального серводвигуна.

Аналогічно були визначені динамічні характеристики маніпулятора в точці φ_3 та φ_4 .

**4. ВИСНОВОК**

Було запропоновано структурну схему ангуряного типу, для якої були визначені геометричні параметри ланок виконавчого механізму, та досліджено кінематику. Використовуючи спеціалізовані програмне забезпечення було створено віртуальну модель ангулярного маніпулятора, та виконано динамічний аналіз із застосуванням сучасних засобів імітаційного моделювання – САПР– Solid Works 2019.

Список використаних джерел

1. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32, №2. P. 341–351
2. Solona O., Kovbasa V., Kupchuk I. Analytical study of soil strain rate with a ploughshare for uncovering slit. *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31, №2. P. 212–218.
3. Solona O.V., Kovbasa V.P., Kupchuk I.M. The contact interaction dynamics of the working tool of the mole plowshare with the soil during forming process a channel for an anti-filtration screen. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. №2 (97). P. 81–89.
4. Yanovych V., Kupchuk I. Determination of rational operating parameters of vibration crusher in accordance with dispersion of material. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2(97). P. 104–108.
5. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 3. P. 6–12.
6. Kuznietsova I., Bandura V., Paziuk V., Tokarchuk O., Kupchuk I. Application of the differential scanning calorimetry method in the study of the tomato fruits drying process. *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31, №2. P. 173–180.
7. Броварець О. О. Дистанційне керування технологічними операціями роботизованих систем у точному землеробстві. *Механізація та електрифікація с.г.* Глеваха, 2008. Вип. 92. С. 530–535.
8. Калетнік Г. М., Черниш О. М., Березовий М. Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. *Збірник наукових праць ВНАУ*: Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8–18.
9. Солоня О. В. Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 71–76.
10. Граняк В. Ф., Купчук І. М., Гонтар В. Г. Метод та засіб прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричних машин. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №2 (109). С. 129–137.
11. Солоня О. В., Купчук І. М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посібник. Вінниця: ТОВ “Друк”, 2020. С. 252.

References

- [1] Yaropud, V., Hunko, I., Aliiev, E., Kupchuk, I. (2021). Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus*, 32(2). 341–351. [in English].
- [2] Solona, O., Kovbasa, V., Kupchuk, I. (2020). Analytical study of soil strain rate with a ploughshare for uncovering slit. *Agraarteadus*, 31(2). 212–218. [in English].
- [3] Solona, O.V., Kovbasa, V.P., Kupchuk, I.M. (2020). The contact interaction dynamics of the working tool of the mole plowshare with the soil during forming process a channel for an anti-filtration screen. *Vibrations in engineering and technology*, 2(97). 81–89. [in English].
- [4] Yanovych, V., Kupchuk, I. (2017). Determination of rational operating parameters of vibration crusher in accordance with dispersion of material. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 2(97). 104–108. [in English].
- [5] Kaletnik, H., Adamchuk, V., Bulgakov, V., Kyurchev, V., Nadykto, V. (2016). Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 3(95). 6–12. [in English].
- [6] Kuznietsova, I., Bandura, V., Paziuk, V., Tokarchuk, O., Kupchuk, I. (2020). Application of the differential scanning calorimetry method in the study of the tomato fruits drying process. *Agraarteadus*, 31(2). 173–180. [in English].
- [7] Brovarets, O.O. (2008). Dystantsiine keruvannia tekhnolohichnymy operatsiiamy robotyzovanykh system u tochnomu zemlerobstvi [Remote control of technological operations of robotic systems in precision agriculture]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia s.h.*, 92. 530–535. [in Ukrainian].
- [8] Kaletnik, H.M., Chernysh, O.M., Berezovyi, M.H. (2011). Vykorystannia suchasnykh metodiv mekhaniky dlia silskoho hospodarstva [Use of modern methods of mechanics for agriculture]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Vinnytsia*, 1(65). 8–18. [in Ukrainian].



- [9] Solona, O.V. (2020). Zastosuvannia suchasnykh mekhatronnykh system ta robotyzovanykh kompleksiv u APK Ukrainy [Application of modern mechatronic systems and robotic complexes in the agricultural industry of Ukraine]. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 3 (110). 71–76. [in Ukrainian].
- [10] Hraniak, V.F., Kupchuk, I.M., Hontar V.H. 2020. Metod ta zasib priamoho avtomatyzovanoho vymiriuvalnogo kontroliu izoliatsii obmotok elektrychnykh mashyn [Method and means of direct automated measuring control of insulation of windings of electric machines.]. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 2 (109). 129–137. [in Ukrainian].
- [11] Solona, O.V., Kupchuk, I.M. (2020). *Praktykum z teorii mekhanizmiv i mashyn: navch. posibnyk. [Workshop on the theory of mechanisms and machines: training]*. Vinnytsia: Druk LLC. [in Ukrainian].

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

The key group of innovations from the standpoint of sustainable development are technological innovations, which are represented by innovations in technology or (innovation-process). They are the basis of meeting the growing needs of society, increasing production efficiency, changing models and generations of equipment and technological methods of production.

Modern agriculture cannot be imagined without the use of IT technologies. Today, the robotization of agriculture is inevitable.

Agriculture will benefit from the revolution in the field of information and communication technologies, which is happening in all areas: robotics, sensory perception, more intelligent decision support systems, data analytics, etc. For the geospatial industry, fieldwork robotics is a particularly important task. It is a huge operation to control robots - on wheels or in the air - using navigation systems and sensors, to store all data and integrate them into relevant applications.

Technological renewal of the agrarian sector of the economy is usually based on the use of high-tech systems of management, monitoring, control, management and automation of production processes, with the use of highly integrated SMART systems and the involvement of artificial intelligence technologies. Taking into account the significant volumes of cargo processing, agricultural enterprises, in particular in warehouses, a promising direction and reserve for ensuring high labor productivity is the use of robotic manipulators, and research is devoted to increasing their functionality and maneuverability, including through the use of intelligent control systems and optimization of the structure of executive mechanisms. relevant and will have practical value.

In the article substantiates the kinematic parameters and dynamic characteristics of the angular manipulator.

Keywords: *additive technologies, working area, computer model, maneuverability, degree of freedom, agricultural work, robotic manipulators.*

F. 5. Fig. 8. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Солона Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4596-0449>).

Olena Solona – Candidate of Technical Sciences, (Ph.D. in Engineering), Associate Professor, Head of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety, Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna Str., Vinnytsia, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4596-0449>).