



DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-99-112

УДК 631.331.85:621.54

В. Б. Бойко¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-1014-7201

В. О. Улексін¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3360-8376

О. В. Золотовська¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-5617-9271

Є. І. Лепеть¹, аспірант

ORCID: 0000-0002-0482-538X

Б. В. Бойко¹, студент*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*e-mail: boiko.v.b@dsau.dp.ua, тел.: +380994471292

ПРОЄКТ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ГІДРОПНЕВМАТИЧНОЇ СІВАЛКИ

Анотація. Дана стаття присвячена розробці проекту мехатронної системи керування основними елементами експериментальної гідропневматичної сівалки. Висів насіння овочевих культур відбувається на досить невелику глибину в більшості випадків в сухий шар ґрунту, що впливає на рівномірність та строки появи сходів. Використання гідравлічного висіву дозволить здійснити посів пророслого насіння з необхідним запасом вологи для прискорення початкової вегетації культур та підвищення рівномірності їх сходів. Запропоноване конструктивне рішення гідропневматичної сівалки в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті дозволить реалізувати гідравлічний посів пророслого насіння овочевих культур. Для реалізації злагодженої роботи основних елементів та систем контролю сівалки розроблено проект мехатронної системи гідропневматичної сівалки працездатність та надійність якої доведено експериментальним шляхом. Запропонована мехатронна система дозволяє змінювати технологічні параметри робочих елементів сівалки, а саме тривалість імпульсів відкриття пневматичного і гідравлічного клапанів та витрату робочої рідини насосом для формування заданої щільності насіння в дозуючій камері сівалки. Дослідженнями підтверджено працездатність мехатронної системи та гідропневматичної сівалки в цілому.

Ключові слова: гідросівалка, мехатронна система, електроклапан, гідравлічний висів, проросле насіння, псевдозріджений шар, тригер, одинвібратор, блок керування, відцентровий насос, частота спрацювання.

Постановка проблеми. Одним із напрямків рослинництва, який інтенсивно розвивається в останні часи являється овочівництво [1]. З кожним роком на Дніпропетровщині збільшується частка земельних угідь під вирощування овочів, особливо з втратою контролю над окупованими територіями така частка зросла до 30 % [2]. Враховуючи кліматичні особливості регіону, а саме посушливі весни постає нагальна потреба посіву насіння в вологий шар ґрунту з метою



прискорення початку вегетації культур та підвищення ефективності овочівництва в цілому. Сучасні посівні машини забезпечують досить точне розміщення насіння, як по глибині так і в рядку. Посів насіння овочевих культур здійснюється на досить невеликі глиби від 1 до 3 см [3, 4], в більшості випадків в малозволожений шар ґрунту, що негативно впливає на енергію проростання та врожайність культур. Вирішити дану проблему можливо використовуючи посівні машини, які одночасно з посівом здатні вносити необхідний запас вологи для початкової вегетації овочевих культур. Аналіз конструкцій посівних машин показав, що на сівалках з сухим методом посіву не можливо провести конструктивне удосконалення з реалізацією додаткового внесення вологи [5, 6]. За результатами аналізу гідравлічних сівалок встановлено можливість реалізації висіву насіння з достатнім запасом вологи, але з досить низькою точністю. Посів такими сівалками відбувається методом проливання рідини з насінням, що має ймовірний характер розподілення останнього в рядку. Перевагою таких сівалок є можливість висіву пророслого насіння з одночасним внесенням засобів захисту рослин та стимуляції їх росту, що зумовлює прискорення появи дружніх сходів від 2 до 14 днів, в залежності від виду овочевих культур [7-9]. Поряд з зазначеними перевагами гідравлічні сівалки мають і ряд недоліків, а саме травмування насіння дозуючими пристроями, значні енерговитрати на перемішування рідини з насінням, ймовірний розподіл насіння в рядку. Тому вирішення питань зниження енергії на перемішування рідини з насінням, точного висіву, усунення травмування насіння елементами гідравлічної сівалки є актуальним завданням на шляху до підвищення ефективності процесу посіву овочевих культур. Вирішити дані питання можливо розробкою сівалок з використанням мехатронних систем керування основними їх процесами та вузлами.

Аналіз останніх досліджень. Якість посіву гідросівалок безпосередньо залежить від основних процесів їх роботи, а саме процесу перемішування насіння з рідиною в бакові, відбору та дозування насіння, процесу висіву насіння до насінневого ложе. Вивченню та дослідженню процесу перемішування насіння в бакові формуванню псевдозрідженого шару, в подальшому ПЗШ присвячені роботи науковців Харківського національного технічного університету [10, 11], Дніпровського державного аграрно-економічного університету [12-14], Національного університету біоресурсів і природокористування України [15]. Закордоном цьому питанню присвячені роботи Sang Won Han, Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly [16-18]. Процес дозування насіння з бака та подачі по насіннепроводу детально розглянуто в працях вітчизняних [19-22] та закордонних науковців [23, 24].



В результаті проведеної роботи науковцями описано теоретичні залежності процесу формування псевдозрідженого шару з урахування турбулентності, яка виникає при перемішуванні рідини з насінням. Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри дозуючих пристроїв для реалізації однонасінного точного висіву насіння.

За результатами проведеного аналізу не встановлено зв'язок основних технологічних процесів гідросівалок з технічним забезпеченням, яке базується на інтелектуальному управлінні не лише їх функціональним рухом, а і процесом перемішування рідини з насінням, підтриманням заданої концентрації насіння в рідині, висів насіння в задані точки на полі для реалізації точного (координатного) висіву насіння. Технічне забезпечення гідросівалок повинно базуватися на основі мехатронних систем, тобто об'єднанням основних виконавчих пристроїв (пневматичних та гідравлічних електроклапанів, насосів), електронних елементів контролю та керування (датчиків, блоків керування). Частково питання впровадження мехатронних систем в класичних посівних агрегатах розглянуто в роботах [25-27].

Формулювання мети статті (постановка завдання).

Для реалізації точного висіву враховуючи результати проведеного аналізу наукових робіт необхідно розробити мехатронну систему сівалки використовуючи агрегатний метод проектування [28, 29] з розробкою основних складових (створення ПЗШ необхідної концентрації, дозована подача насіння, висів в задані точки поля), що впливають на якість процесу посіву з обґрунтуванням їх конструктивно-технологічних параметрів.

Основна частина. Для стендових досліджень роботи мехатронної системи гідропневматичної сівалки розроблено її експериментальний зразок наведений на рис. 1 та принципову схему рис. 2. Корпус сівалки виготовлено з прозорих матеріалів, що дозволяє візуально спостерігати за протіканням основних процесів, вести відео та фото фіксацію. З метою встановлення працездатності та бажаних значень основних конструктивно-технологічних параметрів елементів мехатронної системи сівалки в схему включено необхідні контрольно-вимірні прилади.

В нижній частині корпусу 6 (рис. 2) у вигляді клину виконано дозуючу камеру 12, насіння потоком що створює насос 26 піднімається вгору формуючи ПЗШ. За допомогою рухомих стінок 22 підбирається оптимальний кут дозуючої камери використовуючи важелі 19 ущільнені прокладкою 18.

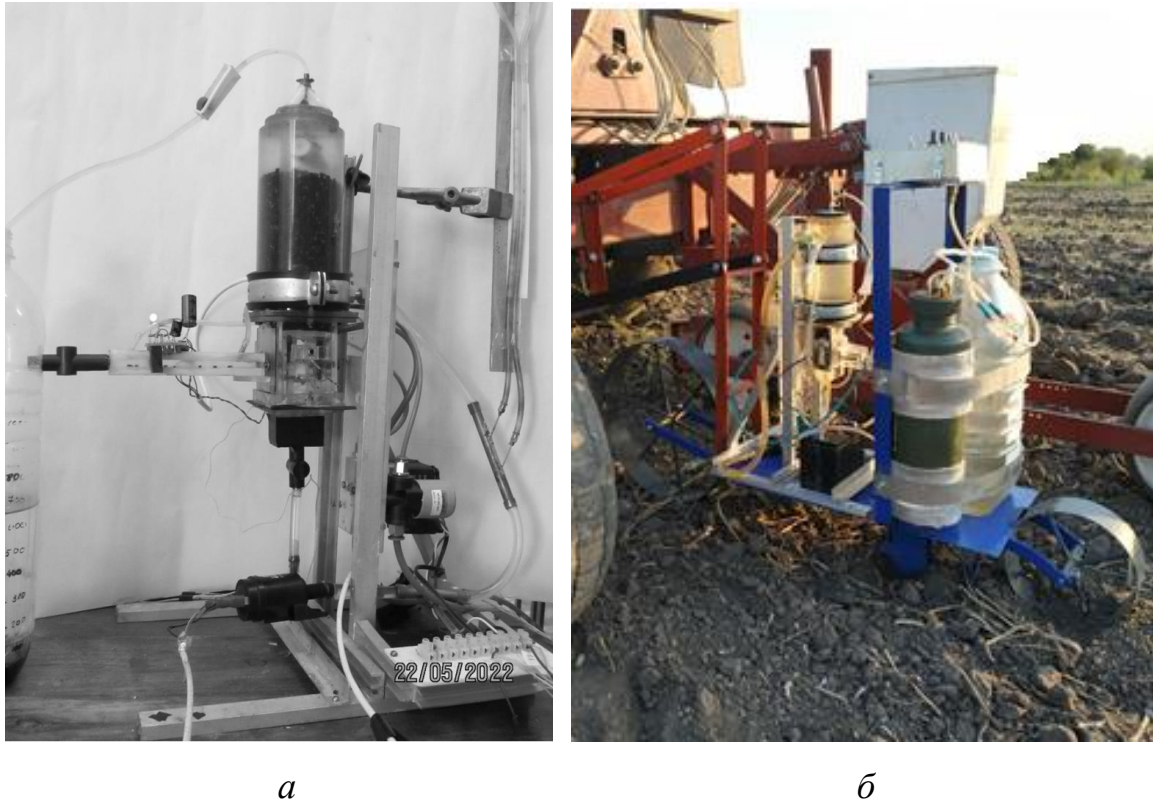


Рис. 1. Експериментальний зразок гідропневматичної сівалки:
а – для стендових випробувань; б – для польових випробувань

Необхідна концентрація насіння 15 в зоні дозуючої камери 12 підтримується шляхом зміни швидкості потоку, який створює насос 26. Фотодатчик 20 виконує постійний контроль оптичної щільності насіння в камері 12 та вносить корективи за допомогою регулятора 28 в разі відхилення показників щільності від заданого значення шляхом збільшення або зменшення рівня напруги живлення електронасоса 26. Сітка 8 та 16 надійно захищають насос від потрапляння насіння.

Для забезпечення нормальної роботи сівалки по завершенню завантаження насіння в рідину необхідно видалити повітря з корпусу бака 6 через дренажну трубку 7. Заряджання насінням ствола 2 відбувається з сформованого ПЗШ в дозуючій камері за умови відкриття гідравлічного клапану 24. Під надлишковим тиском рідина надходить з ємності 17 через відкритий клапан 24 в дозуючу камеру, витісняючи насіння по насіннепроводу 25 до датчика заряду насіння 14. Датчик заряджання зреагує на насінину, та сформує сигнал на закриття гідравлічного клапану, процес заряджання завершено.

Процес висіву відбувається за надходження сигналу з датчика переміщення сівалки на блок керування 5 та відкриття електропневматичного клапану 3. Стиснутим повітрям насінина разом з рідиною виштовхується з ствола до мірного стакану 1.

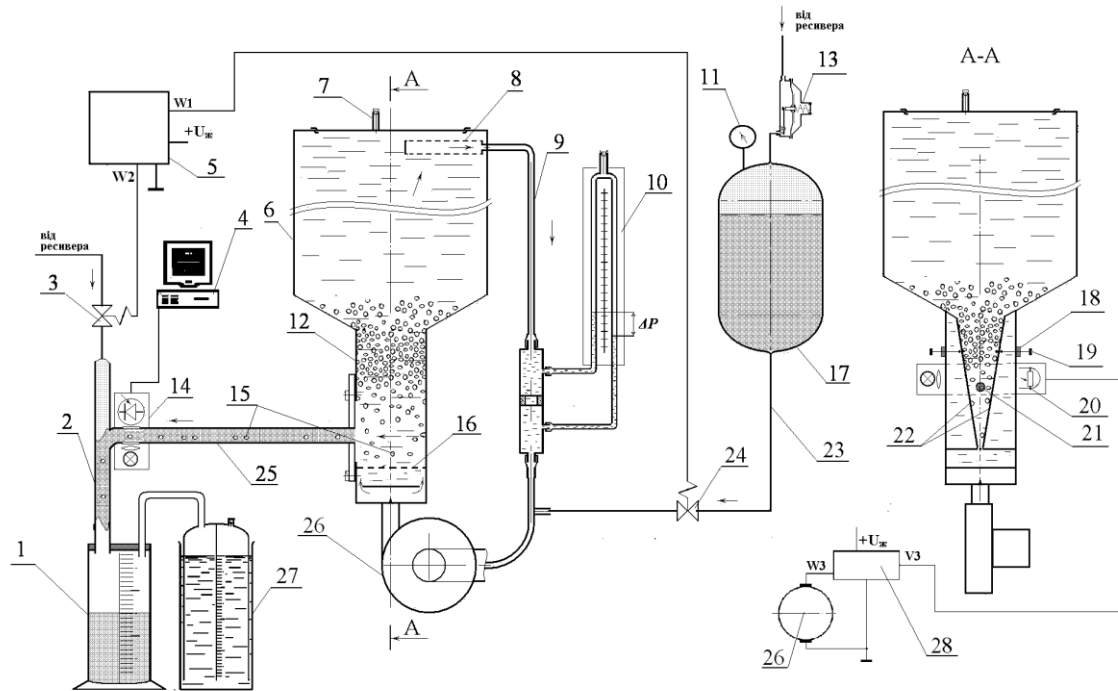


Рис. 2. Експериментальна установка гідропневматичної сівалки:
1 – мірний стакан; 2 – ствол; 3 – електропневматичний клапан;
4 – вимірювально-реєстраційний комплекс; 5 – блок керування;
6 – корпус; 7 – дренажна трубка; 8 – сітчастий фільтр;
9 – обвідна трубка; 10 – ротаметр; 11 – манометр; 12 – дозуюча камера; 13 – редуктор низького тиску; 14 – датчик заряду насіння;
15 – насіння; 16 – сітка; 17 – ємність для рідини; 18 – ущільнювач;
19 – важіль; 20 – датчик щільності насіння; 21 – вхід в насіннепровід;
22 – рухомі стінки; 23 – трубопровід; 24 – електрогідравлічний клапан; 25 – насіннепровід; 26 – електронасос; 27 – витратомір повітря (спірометр); 28 – регулятор витрати електронасоса

Використовуючи агрегатний метод проектування (28, 30) розроблено схему проекту мехатронної системи гідропневматичної сівалки (рис. 3), яка дозволить реалізувати узгоджену роботу основних складових сівалки. В якості джерела живлення 1 сівалки використовується акумуляторна батарея Logipower 12V 7.0 Ah AGM. Заряджання насіння в ствол і переміщення сівалки здійснюємо за допомогою фотодатчиків 5, 7 – ITR9608. Враховуючи швидкодію технологічних процесів, витрату рідини і повітря, в якості запірної арматури обрано електроклапани 9, 10 серії SV-F-ES-22NC-06-DC12V, призначені для роботи з стиснутим повітрям та рідиною. Враховуючи попередньо проведені дослідження формування псевдозрідженого шару обрано електронасос OEM 2110-5208009 з продуктивністю 0,6 л/хв.

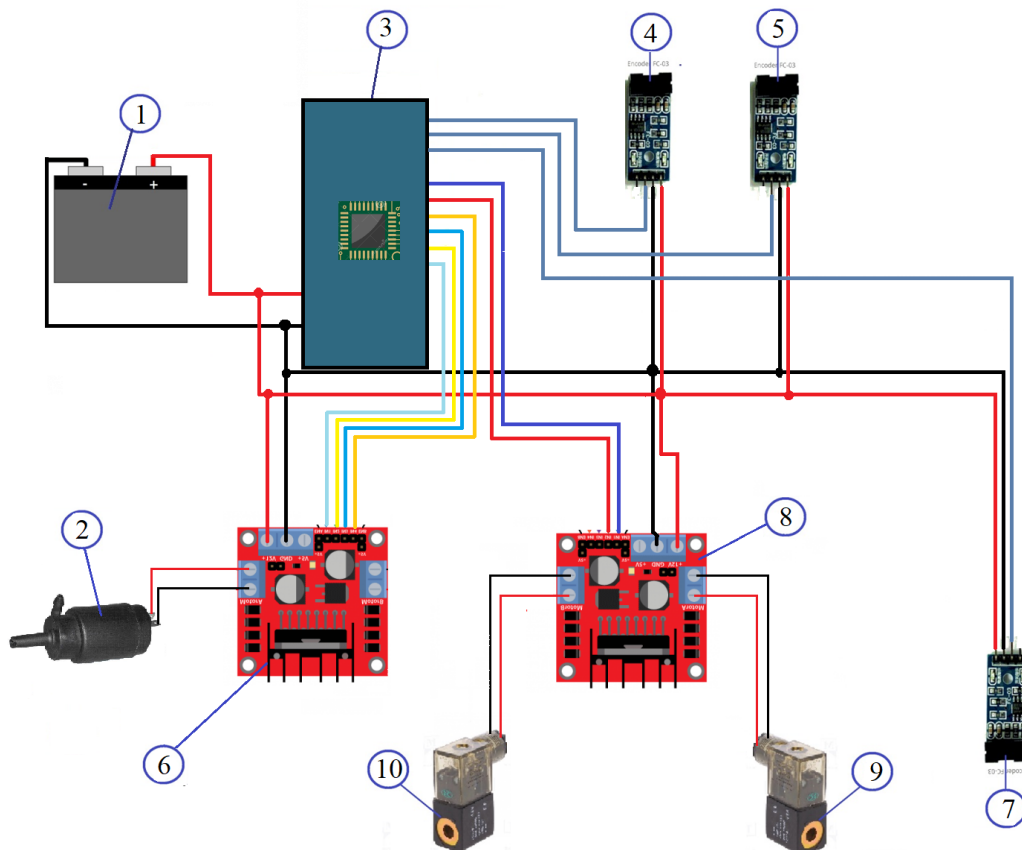


Рис. 3. Схема проекту мехатронної системи гідропневматичної сівалки:

- 1 – акумуляторна батарея ; 2 – електронасос; 3 – блок керування;
4 – датчик щільності насіння; 5 – датчик заряджання насіння;
6 – регулятор витрати електронасоса; 7 – датчик переміщення сівалки;
8 – підсилювач сигналу; 9 – електрогідравлічний клапан;
10 – електропневматичний клапан

Підтримання заданої концентрації насіння в дозуючій камері сівалки здійснюється шляхом зміни витрати насоса 2, яким керує регулятора 6 з оптичним датчиком щільності насіння 4.

Керування основними складовими мехатронної системи сівалки здійснюється електронним блоком 3. Розроблений блок керування забезпечує:

- ручний режим керування електроклапанами;
- керування клапанами в автоматичному режимі з частотою 2...25 Гц;
- регулювання часу відкриття електропневматичного 10...40 мс та електрогідравлічного 10...150 мс клапанів;
- керування електроклапанами за допомогою датчиків заряду насіння та переміщення сівалки.

На рисунку 4 приведена принципова схема електронного блока керування гідропневматичною сівалкою.

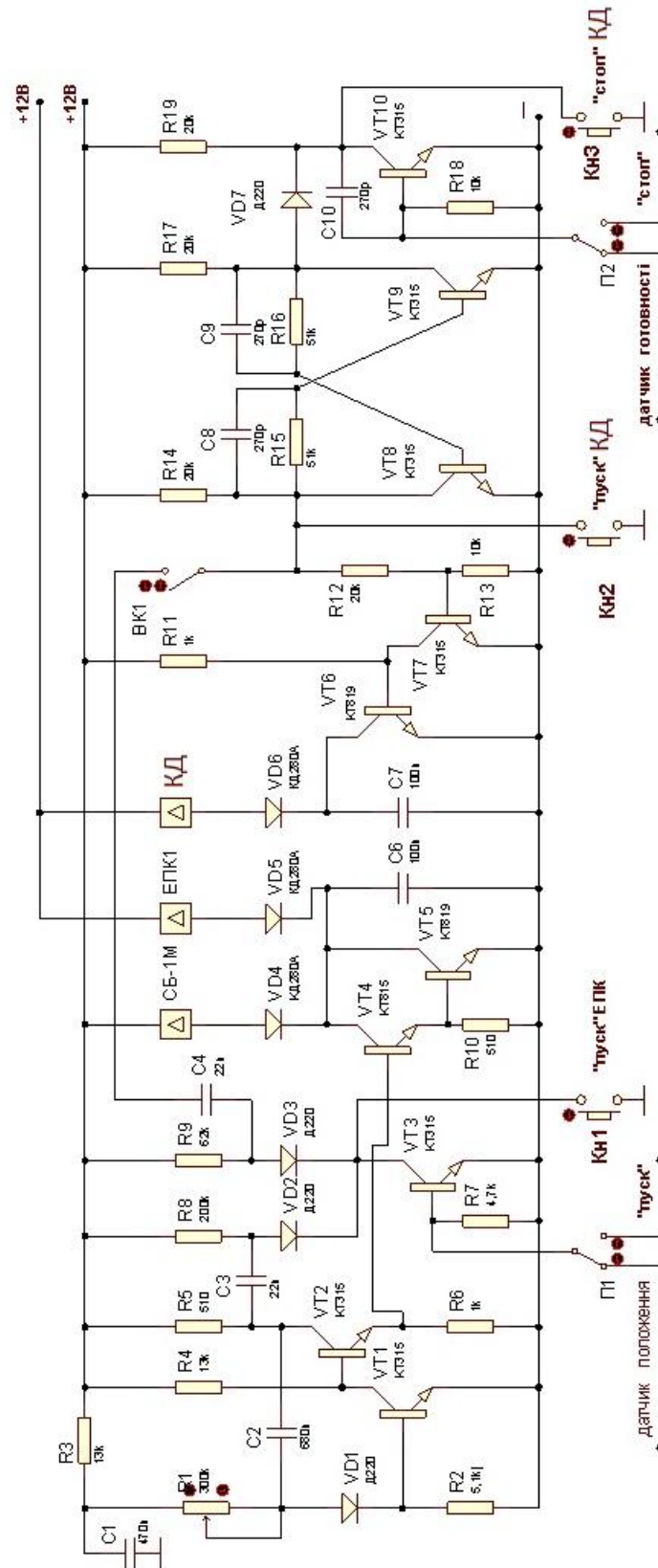


Рис. 4. Принципова електрична схема блока керування гідропневматичною сівалкою

Керування електропневматичним клапаном ЕПК здійснюється транзисторами VT4, VT5. Ключ виконаний на транзисторі VT6 з вхідним інвертором VT7 забезпечує комутацію електрогідравлічного клапана ЕГК. Паралельно з електропневматичним клапаном включено електромеханічний лічильник СБ-1М/100. За допомогою діодів VD4 і VD5 реалізовано розв'язку по живленню клапана та лічильника. Конденсатори С5-С7 і діод VD6 забезпечують захист ключів від комутаційної електрорушійної сили.

Тригер виконаний на транзисторах VT8 і VT9 керує ключем ЕГК в автоматичному (від датчика переміщення та заряду) або в ручному режимі (кнопками Кн2 і Кн3). Перемикачі П1 і П2 дозволяють при виконанні стендових досліджень використовувати замість датчиків генератор імпульсів. Інвертор VT10 узгоджує полярність керуючих імпульсів.

Тривалість відкриття ЕПК встановлюється за допомогою резистора R1, конденсатору С2 та одновібратора виконаного на транзисторах VT1, VT2. Одновібратор запускається вручну (кнопка Кн1) або від датчика переміщення через узгоджувальний інвертор VT3 і конденсатор С3. При замкнутому вимикачі Вк1 разом з пневматичним клапаном через конденсатор С4 включається гідравлічний клапан, і залишається включеним до приходу імпульсу управління «стоп». Розв'язку входу одновібратора і тригера забезпечують діоди VD2 і VD3.

Для проведення частотних випробувань електроклапанів розроблено блокінг-генератор [31], що працює у автоколивальному режимі (рис. 5). За допомогою змінного резистору R2 задаємо необхідну частоту спрацювань електроклапанів.

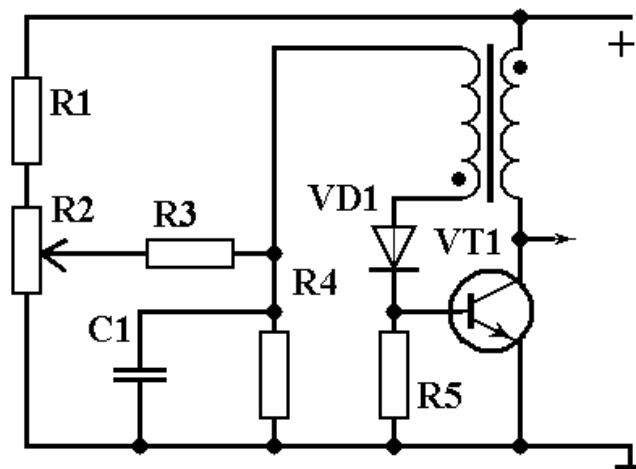


Рис. 5. Принципова електрична схема блокінг-генератора

Використання автономного генератора та незалежне регулювання тривалості імпульсів, дозволяє встановити частотні характеристики роботи окремих елементів та сівалки в цілому.

На рисункові 6 представлено схему регулятора витрати рідини електричного насосу. Регулятор складається з оптопар DA1 та DA2 датчика щільності насіння, які розміщені на стінках дозуючої камери сівалки. На початку пуску сівалки насіння заповнює весь об'єм камери. Фотоприймачі оптопар затінені, відповідно транзистор VT1 закритий, а транзистори VT2, VT3 – відкриті. За цієї умови двигун Д1 відцентрового електронасосу розвиває максимальну подачу рідини до дозуючої камери. Поток рідини насіння виноситься до верхньої частини дозуючої камери знижуючи його щільність. Освітлення фотоприймача оптопар зростає, транзистор VT1 відкривається та прикриває транзистори VT2, VT3 зменшуючи витрату насоса та швидкість потоку в дозуючій камері. За допомогою вимірювального моста і підсилювача напруги DA3 підтримується необхідний рівень напруги живлення насосу забезпечуючи необхідну щільність насіння в зоні його забору до насіннепроводу.

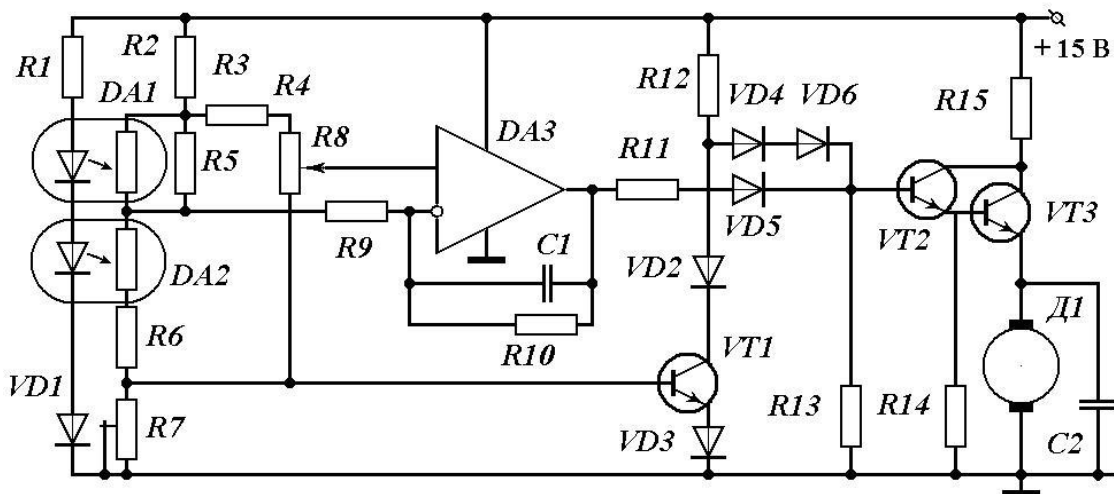


Рис. 6. Схема регулятора приводу електронасоса

За результатами стендових досліджень отримано частотні характеристики роботи запірних елементів. Залежність циклової витрати води від частоти імпульсів відкриття електрогідравлічного клапана представлено на рисунку 7. Дослідженнями встановлено максимальне значення частоти спрацювань ЕГК не повинно перевищувати 14 Гц. При збільшенні цього значення візуальними спостереженнями встановлено появу резонансних явищ викликаних коливанням рідини в порожнинах сівалки.

В результаті дослідження частотних характеристик електропневматичного клапана отримано залежність циклової подачі

повітря від тривалості електричних імпульсів при тиску в межах 1..3 атм. Отримана залежність (рис. 8) практично лінійна, відсутність резонансних явищ за тривалості імпульсів від 15 до 35 мс підтверджує задовільну роботу клапана з частотою до 50 Гц.

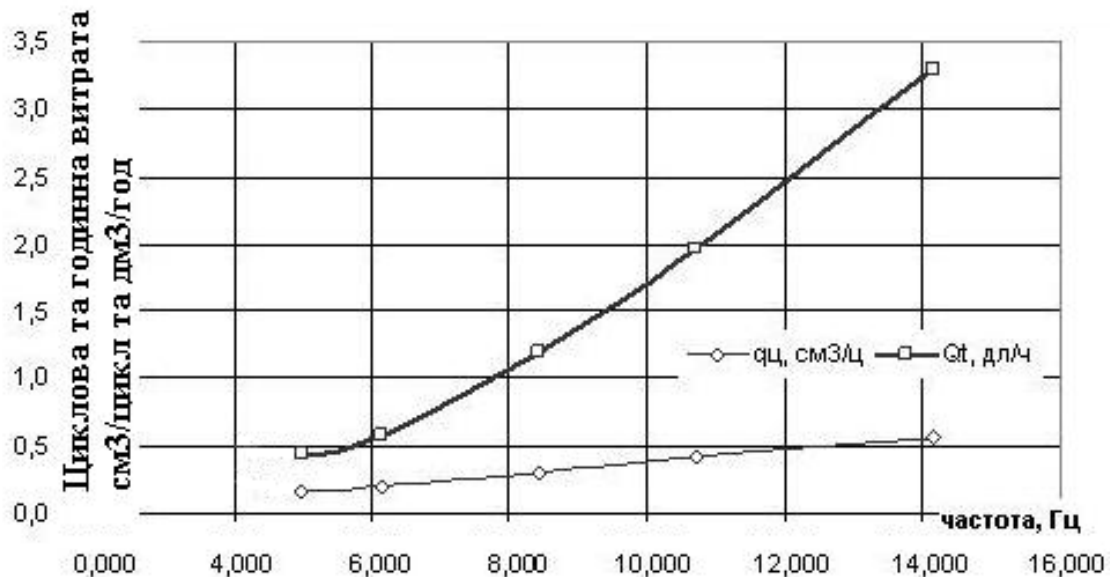


Рис. 7. Частотна характеристика роботи електрогідравлічного клапана

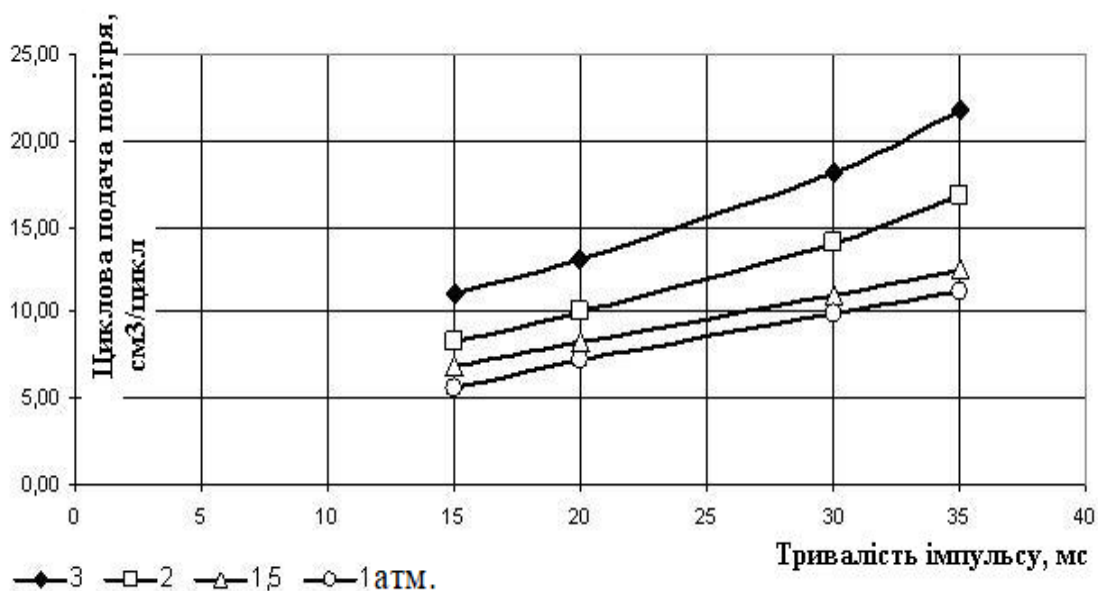


Рис. 8. Залежність циклової подачі повітря від тривалості імпульсу відкриття електропневматичного клапана

Проведені дослідження підтвердили працездатність запірних елементів та достатню їх швидкодію.

Висновки. Для реалізації точного висіву гідропневматичною сівалкою необхідно встановити зв'язок основних технологічних



процесів сівалки з технічним забезпеченням, яке базується на інтелектуальному управлінні не лише її функціональним рухом, а і процесом перемішування рідини з насінням, підтриманням заданої концентрації насіння в рідині, висіву насіння в задані точки на полі. Врахувавши досвід науковців в вирішенні даних задач розроблено проект мехатронної системи, здатної забезпечити узгоджену роботу основних складових гідропневматичної сівалки. За результатами експериментальних досліджень отримано частотні характеристики роботи клапанів та встановлено граничні максимальні значення частоти спрацювання електрогідравлічного клапана не більше 14 Гц і електропневматичного клапана 50 Гц. Дослідженнями підтверджено працездатність мехатронної системи та гідропневматичної сівалки в цілому

Список використаних джерел

1. <https://agroportal.ua/news/rastenievodstvo/v-ukrajini-z-yavlyayutsya-novi-centri-ovochivnictva> (дата звернення 23.09.2023).
2. <https://agroportal.ua/multimedia/agrariji-dnipropetrovshchini-zbirayut-urozhay-cibuli> (дата звернення 23.09.2023).
3. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 2. Відкритий ґрунт: навч. посібник. Вінниця: Нова Книга, 2008. 312 с
4. Мазур В. А., Поліщук І. С., Телекало Н. В., Мордванюк М. О. Навчальний посібник з дисципліни «Рослинництво». Вінниця: Видавництво ТОВ «Друк», 2020. 352 с.
5. https://agrotimes.ua/article/kompleksi_mashin_dlya_ovochivnictva/ (дата звернення 25.09.2023).
6. Сисолін П. В., Свірень М. О. Висівні апарати сівалок. Кіровоград, 2004. 160 с.
7. Ящук Д. А. Виробничі випробування гідросівалки на висіві насіння селери. *Вісник ХНТУСГ*. 2015. Вип. 165. С. 102-106.
8. Дейнека С. М. Висів пророщеного насіння овочевих культур за допомогою гідросівалки. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 280-286.
9. Parsakhoo A., Jajouzadeh M., Rezaee Motlagh A. Effect of hydroseeding on grass yield and water use efficiency on forest road artificial soil slopes. *J. For. Sci.* 2018. Т. 64. Р. 157–163. <https://doi.org/10.17221/2/2018-JFS>.
10. Бакум Н., Ящук Д., Кречот Н. Повышение урожайности томатов за счёт посева пророщенными семенами. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol.17(7). Р. 49-52.



11. Бакум М. В., Ящук Д. А. Результати порівняльних польових досліджень способів сівби насіння овочевих культур. *Вісник ХНТУСГ*. 2013. Вип. 135. С. 374–379.
12. Улексін В. О., Бойко В. Б. Циркуляційний насос для гідропневматичного висівного апарата. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2012. Вип. 3(37). С. 91-94.
13. Бойко В. Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. Вип. 3. С. 10-16.
14. Бойко В. Б., Алієв Е. Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. *Інженерія природокористування*. 2015. № 2(4). С. 78-84.
15. Aniskevich L. V., Deyneka S. M. Technical and economic evaluation of efficiency of hydroseeder. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2020, Vol. 11(1). P.121-126. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2020.01.121-126>.
16. Manabu I. *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Springer, 2014. 260 p.
17. Sang Won Han. Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012. Vol. 6. P. 411-415.
18. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k-ε Turbulence Model. *CFD Letters*. 2009. Vol. 1(2). P. 87-94.
19. Улексін В. О., Бойко В. Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. *Вісник ХНТУСГ. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2015. Вип. 156. С. 52-60.
20. Бойко В. Б. Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. № 45(1). С. 291-297.
21. Дозатор-обмежувач гідровисівуючого апарату: пат. України № 118028. МПК А 01 С 7/20. № u201610886. Заявл. 31.10.2016; Опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14.
22. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 5/ 1(107). P. 36-43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212517>.
23. Chen N. H. An Explicit Equation for Friction factor in Pipe. *Eng. Chem. Fundam*. 1979. Vol. 18(3). P. 296-297.



24. Kubicki D. Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia. 2012. P. 1-6.

25. Пастухов В. І., Бакум М. В., Кириченко Р. В. та ін. До розробки мехатронних систем посівних машин точного висіву. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2015. Вип. 156. С. 156-161.

26. Бакум М. В., Кириченко Р. В., Басов О. І. Використання мехатронних пристроїв в посівних машинах точного висіву. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Серія Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2016. Вип. 173. С.125-131.

27. Мельник В. І., Бакум М. В., Пастухов В. І., Кириченко Р. В., Басов О. І., Кириченко О. А. Просапна сівалка з мехатронним пристроєм. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: матер. XII Міжнар. наук.-практ. конф.* 2019. С. 25-28.

28. Сучасні електромехатронні комплекси і системи: навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова; ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 116 с.

29. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. Boca Raton : CRC Press, 2002. 1229 p.

30. R. K. Raiput. A Textbook of Mechatronics/ R. K. Raiput, S. Chand & Company LTD. Rom Nogar, New Delhi, 2007. 618 p.

31. L. Minati G., Innocenti G., Mijatovic H., Ito M. Frasca. Mechanisms of chaos generation in an atypical single-transistor oscillator. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2022. Vol. 157. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.111878>.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2023 р.

V. Boiko¹, V. Ulexin¹, O. Zolotovska¹, E. Lepet¹, B. Boiko¹
¹Dnipro State Agrarian and Economic University

PROJECT OF MECHATRONIC SYSTEM OF EXPERIMENTAL HYDROPNEUMATIC SEEDER

Summary

This article is devoted to the development of a mechatronic system project and the creation of the main elements of an experimental hydropneumatic seeder. Vegetable crops are sown at a shallow depth, in most cases in a dry layer of soil, which affects the uniformity and timing of emergence. The use of hydraulic sowing will make it possible to sow sprouted seeds with the necessary supply of moisture to accelerate the initial growing season of cultivated vegetable crops and increase the uniformity of their



harvesting. The Dnieper State Agrarian and Economic University has proposed a design solution for hydropneumatic seeders, which allows for the implementation of hydraulic sowing of sprouted vegetable seeds. To implement the coordinated operation of the main elements and control systems of the seeder, a project has been developed for a mechatronic system for a hydropneumatic seeder, the operability and reliability of which has been improved experimentally. The proposed mechatronic system allows you to change the technological parameters of the working elements of the seeder, as well as the duration of the pulses of the open state of the pneumatic and hydraulic valves and the flow rate of the working fluid by the pump to form a given seed density in the dosing chamber of the seeder. Based on the results of the experimental studies, the frequency characteristics of the valves were obtained and the maximum limit values of the operating frequency of the electro-hydraulic valve were determined to be no more than 14 Hz and the electro-pneumatic valve was 50 Hz. In general, research has proven the operability of the developed mechatronic system and hydropneumatic seeder.

Keywords: hydroseeder, mechatronic system, electric valve, hydraulic seeding, sprouted seeds, fluidized bed, trigger, single vibrator, control unit, centrifugal pump, operating frequency.