ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПАНКОВ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 631.331.53

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ЗАСТОСУВАННЯМ ПНЕВМАТИЧНИХ ВИСІВНИХ ПРИСТРОЇВ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ

Спеціальність 05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


А. О. Панков

Науковий консультант: Аулін Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор

Кропивницький – 2018

АНОТАЦІЯ

Панков А.О. Наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Центральноукраїнський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Кропивницький, 2018.

В дисертаційній роботі вирішена комплексна науково-технічна проблема підвищення ефективності роботи зернових сівалок, що включає в себе наступні складові: покращення енергоефективності робочого процесу висівних систем, зниження матеріаломісткості і тягового опору сівалок на основі застосування пневматичних висівних пристроїв дискретної дії з елементами струминної техніки, а також удосконалення засобів автоматизації та інформатизації процесу висіву на основі мехатронного підходу.

Теоретичні дослідження виконані на основі методів інтелектуального аналізу даних – еволюційних обчислень, генетичних алгоритмів і програмування, технології Data Mining, стохастичного прогнозування та математичної статистики, а також методів системного аналізу, теорії ефективності, теорії автоматичного управління, гідродинамічних аналогій і механіки сипких середовищ. При виконанні експериментальних досліджень використані методи аеродинамічного комп'ютерного імітаційного моделювання та програмування, галузеві і приватні методики випробувань висівних апаратів і систем. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана із застосуванням комп'ютерних технологій, використанням методів математичного аналізу і математичної статистики.

Показано, що ефективність роботи зернових сівалок в даний час визначається комплексно, на основі наступних показників і критеріїв:

коефіцієнтів варіації висіву H, $H_в$ і розподілу насіння V; продуктивності W, швидкості руху v, ширини захвату B; питомої енергоємності роботи сівалки $E_{сп}$ і її висівної системи $E_{вс}$, ККД висівної системи $\eta_{вс}$; конструктивної маси $m_к$, матеріаломісткості $m_{пит}$ і питомого тягового опору $p_{пит}$; інноваційності, що характеризується коефіцієнтом технічного рівня $k_{тр}$ висівної системи; функціонально-структурної інтеграції I^{FS} засобів автоматизації і розподілу функціонального навантаження I_g в них.

Виявлено, що причиною зниження ефективності застосування зернових сівалок з традиційними висівними системами є непропорційно зростаючі матеріало- і енергоємність конструкцій та робочого процесу, і як наслідок, підвищення тягового та технологічного опору машин. Отже, актуальною проблемою є зниження матеріаломісткості через те, що вона перевищує рекомендовані значення, рівні 250...300 кг/м. Значення енергоємності роботи зернових сівалок також перевищують рекомендовані 10...15 кВт/м.

Встановлено, що для зернових сівалок з механічними висівними апаратами принципово не вдасться знизити матеріалоємність і енергоємність до оптимальних у даних соціальних та техніко-економічних умовах, з одночасним пропорційним підвищенням ефективності і продуктивності. Внаслідок того, що ефективне використання таких висівних систем в значній мірі вичерпало свій потенціал, то актуальним є впровадження нових технологій виробництва і механіко-технологічних принципів дії висівних систем з мінімальною енергетикою виробництва і експлуатації, автоматизацією та інформатизацією робочого процесу.

Оскільки сільськогосподарські машини працюють в умовах, обумовлених взаємодією процесів різного характеру, то їх дослідження і розробка потребують комплексного вирішення технічних, технологічних, біологічних і соціальних питань. Це обумовлює необхідність розгляду різних факторів і елементів як однієї системи. Тому основним методологічним принципом в даній роботі є системний підхід, що дозволяє розробити і прийняти найбільш раціональні рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування зернових сівалок.

Показано, що в даний час для підвищення продуктивності посівних машинно-тракторних агрегатів перспективним є інтенсивний напрямок, заснований на підвищення швидкості руху до 15 км/год і вище. При цьому необхідно забезпечити зниження енерговитрат, пов'язаних із підвищенням швидкості, що можливо на основі застосування нових висівних систем зернових сівалок з оптимізованим енергоспоживанням.

Встановлено, що в даний час має місце вепольний напрям розвитку висівних апаратів і систем посівних машин. У вепольних системах відбувається перехід від механічних полів до імпульсних та електромагнітних, збільшення дисперсності речовин і кількості зв'язків між елементами, що відповідає тенденції, згідно якій імпульсні та електромагнітні поля отримують поширення в техніці агропромислового комплексу. Тому перспективним напрямком підвищення ефективності технологічного процесу висіву є його принципова структурна зміна на основі застосування вепольного дискретного принципу дії висівних пристроїв, пов'язаних гнучкою дискретною синхронізацією з переміщенням посівної машини. При цьому дискретний принцип дії висівних апаратів і систем дозволяє більш ефективно здійснювати автоматизацію робочого процесу, на відміну від аналогового принципу дії традиційних висівних апаратів.

Залежності, виявлені в результаті аналізу і обробки даних, що характеризують роботу і конструкції зернових сівалок, дозволили обґрунтувати комплексний універсальний критерій ефективності застосування посівних машин, який представляє собою параметричне співвідношення, що визначає ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок на основі раціонального використання енергії. Співвідношення витрат енергії, визначених питомим тяговим опором, до показника питомої продуктивності, тобто p_{num}/W_{num}, або витрат до ефективності, показує порівняльну ефективність посівної машини. Встановлена одиниця виміру критерію відповідає фізичному еквіваленту − умовній динамічної в'язкості μ^*. Фізичний зміст розглянутого критерію полягає в здатності машини долати опір з максимальною ефективністю, а конструктивні і

технологічні показники різних машин можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію.

Показано, що існуючі машини для посіву зернових культур недостатньо схильні до автоматизації та роботи в умовах системи точного землеробства. Встановлено, що необхідне їх переобладнання пов'язане зі значними технічними і матеріальними витратами, а практична реалізація багатьох пропонованих технічних рішень диференціювання норми висіву недостатньо ефективна. При цьому більшість існуючих технічних засобів диференціювання норми висіву є структурно надлишковими, з негативним показником функціонально-структурної інтеграції та нерівномірним розподілом функціонального навантаження. Показано, що наявність надлишкових блоків приводить до зниження надійності і точності функціонування систем автоматизації, погіршення їх масогабаритних і вартісних показників. Доведено необхідність поліпшення показника функціонально-структурної інтеграції та розподілу функціонального навантаження в системах автоматизації посівних машин на основі застосування інтелектуальних мехатронних модулів.

Встановлено, що поєднання в посівній машині роздільно-агрегатної компонувальної схеми групового висіву з малою матеріаломісткістю і висівних систем зі зниженою енергоємністю можливо лише на основі розроблених і випробуваних пневматичних висівних пристроїв дискретної дії з елементами пневмоніки. Це дозволяє зменшити енергоємність роботи зернових сівалок на 13%, знизити їх тяговий опір на 12%, а також зекономити експлуатаційні і приведені витрати до 16% в порівнянні з посівними машинами, заснованими на поєднанні інших компонувальних схем і висівних систем.

Ключові слова: висівна система, диференційований висів, зернова сівалка, критерій ефективності, мехатронний модуль, пневмоніка, струминний елемент, тяговий опір, енергоємність, ефективність, вепольність, дискретність, автоматизація.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 55 наукових працях.

Монографії

1. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / А. А. Панков, В. В. Аулин, М. И. Черновол. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.

У фахових виданнях

2. Панков А. А. Целесообразность применения и теоретическое обоснование параметров активного вихревого распределителя семян / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Збірник наукових праць ЛДАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, 2001. – № 10/22. – С. 82–85.

3. Коваль В. Я. Решение третьей задачи виброреологии путем аппроксимации теоретических данных и обобщения полученных результатов для различных сыпучих сред / В. Я. Коваль, Н. И. Волошко, А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КДТУ. – Вип.10. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 59–63.

4. Панков А. А. Преобразование выражений Булевой алгебры последовательным применением принципа двойственности / А. А. Панков, А. Е. Петренко, Ю. А. Корчанова // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 84–86.

5. Волошко Н. И. О разработке конструкции и исследовании вибролемеха плуга / Н. И. Волошко, П. А. Ермак, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 39–41.

6. Панков А. А. Перспективные направления в разработке и совершенствовании высевающих аппаратов рядковых сеялок / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 429–432.

7. Панков А. А. Дифференцированный высев на основе элементной базы струйной пневмоавтоматики / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2003. – № 31/43. – С. 167–170.

8. Панков А. А. Совершенствование дозирующих систем с элементами струйной техники для рядовых культур / А. А. Панков, В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 126–129.

9. Коваль В. Я. Определение силы бокового давления семян подсолнечника на стенку неглубокого сосуда / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 76–84.

10. Панков А. А. Сравнительный анализ эксплуатационных энергетических показателей работы высевающих аппаратов рядовых сеялок / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавницво ЛНАУ, 2005. – № 49/72. – С. 186–194.

11. Панков А. А. Повышение производительности посевных машин на основе рационального использования энергии / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 68/91. – С. 186–193.

12. Панков А. А. Механико-технологические основы снижения энергетических затрат при работе посевных машин / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 65/88. – С. 164–173.

13. Панков А. А. Совершенствование пневматических высевающих аппаратов / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Науковий вісник ЛНАУ. Спеціальн. вип. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2011. – № 30. – С. 338–341.

14. Применение новых информационных технологий в земледелии [Електронний ресурс] / А. А. Панков, А. В. Щеглов, В. А. Колесников // Наукові вісті Далівського університету. – 2012. – № 9 (180), Ч. 2. – Режим доступу до журналу: http://uran.donntu.org/~masters/2014/igg/knysh/library/17.htm

15. Панков А. А. Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць КНТУ. – Вип. 25, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 61–68.

16. Щеглов А. В. Нижняя подача семян присосками барабана из семенной камеры / А. В. Щеглов, А. А. Панков // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. – № 47. – С. 202–205.

17. Панков А. А. Применение эжекторов в пневмоструйной технике агропромышленного комплекса / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч.І. – С. 326–329.

18. Панков А. А. Актуальность и перспективы создания универсальных модульных машин для выращивания зерновых культур / А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. І. – С. 239–246.

19. Аулин В. В. Технико–экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами / В. В. Аулин, А.А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. 2. – С. 7–14.

20. Черновол М. И. Моделирование силовых пневмоструйных элементов высевающих аппаратов / М. И. Черновол, В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 4. – С. 175–179.

21. Панков А. А. Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 76–82.

22. Аулин В. В. Надёжность рабочих процессов технических средств АПК с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, Т. Н. Замота // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 5. – С. 117–125.

23. Аулин В. В. Энергетическая концепция развития высевающих систем / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 267–273.

24. Аулин В. В. Конструктивно–компоновочные схемы высевающих систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 142–147.

25. Аулін В. В. Напрями розвитку висіваючих систем / В. В. Аулін, М. І. Черновол, А. О. Панков // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 54–58.

26. Аулин В. В. Исследование формирования исходного потока семян пневмодозатором пунктирного высева / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 2. – С. 27–32.

27. Панков А. А. Энергетические показатели рабочего процесса высевающих аппаратов и систем / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць ЦНТУ. – Вип. 30. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 28–36.

28. Аулин В. В. Экспериментальные исследования струйного высевающего аппарата / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов, Г. И. Анистратов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 67–70.

29. Аулин В. В. Исследование выброса семян пропашных культур пневмоструйным высевающим аппаратом / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 221–225.

30. Аулин В. В. Панков А. А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 2. – С. 116–119.

31. Аулин В. В. Выбор датчика скорости и надежность его работы в блоке управления струйной высевающей системой / В. В. Аулин, А. А. Панков // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – № 8. – С. 153–158.

32. Аулин В. В. Автоматизация регулирования нормы высева на основе мехатронной реализации программно-аппаратного обеспечения / В. В. Аулин, А.А. Панков, М. И. Черновол, А. Г. Стахорская // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 3. – С. 240–244.

33. Аулин В. В. Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, Ч. 1. – С. 40–46.

В іноземних спеціалізованих виданнях

34. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199. (Закордонне періодичне видання).

35. Аулин В. В. Поточно–программное регулирование рабочих параметров мобильных технологических машин / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. Г. Стахорская // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Poland, Lublin, 2016. – Vol. 18, № 2. – pp. 25–32. (Закордонне періодичне видання).

36. Аулин В. В. Программно–аппаратные средства дифференцированного дозирования технологических материалов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. Труды БГТУ. Серия 1. – Минск: БГТУ, 2017. – № 1 (192). – С. 23–33. (Закордонне періодичне видання).

37. Аулин В. В. Функционально–структурный анализ системы управления нормой высева в информационной системе земледелия / В. В. Аулин, М. И.

Черновол, А. А. Панков // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 22-24 ноября 2017 года). – Минск, БГАТУ. – 2017. – С. 72–74. (Закордонне періодичне видання).

38. Aulin V. V. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov, T. M. Zamota, K. K. Panayotov // INMATEH. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 53, № 3. – pp. 21–28. (Закордонне періодичне видання).

Матеріали та тези конференцій

39. Панков А. А. Применение элементов струйной техники в сельском хозяйстве, легкой и пищевой промышленности : матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 20 квітня 2012 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 47–51.

40. Панков А. А., Щеглов А. В. Качественный системный анализ процессов и явлений в техническом обеспечении АПК : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2013 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2013. – Вип.1. – С. 219–221.

41. Панков А. А. Разработка и применение высевающих систем с элементами струйной пневмоавтоматики : матеріали VI Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 19 квітня 2013 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 65–67.

42. Панков А. А. Тенденции развития технических средств для выращивания зерновых культур в агропромышленном комплексе : матеріали Всеукраїнської науково–практичної інтернет–конференції з міжнародною участю [«Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта»],

(Луганськ, 4 квітня 2014 р.) / Міністерство освіти, «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2014. – С. 57–58.

43. Панков А. А. Возможности и задачи использования пневмоструйных устройств в технических средствах АПК : материалы IX Международной научно–практической конференции [«Проблемы горного дела и экологии горного производства»], (Антрацит, 24–25 апреля 2014 г.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2014. – С.206–208.

44. Аулин В. В., Панков А. А. Перспективы применения универсальных модульных машин в растениеводстве : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 157–158.

45. Аулин В. В., Панков А. А., Стахорская А. Г. Управление дозирующими устройствами в информационных системах земледелия : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси» (ІІРТК–2016)»], (Киів, 17-18 травня 2016 р.) / Міністерство освіти, К. : НАУ, 2015. – С. 193–195.

46. Аулин В. В., Панков А. А., Щеглов А. В. Повышение эффективности рабочего процесса лесных сеялок на основе применения элементов и устройств пневмоструйной техники : материалы 81 научно–технической конференция профессорско–преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) [«Технология и техника лесной промышленности»], (Минск, 02-07 февраля 2017 г.) / Минск : БГТУ. – С.129–130.

47. Аулин В. В., Панков А. А. Пневмоструйные исполнительные элементы высевающих систем посевных машин : матеріали III Всеукраїнської науково–практичної конференції [«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»], (Житомир, 29–30 березня 2017 р.) / Міністерство освіти, ЖНАУ, 2017. – С. 6–8.

48. Аулин В. В., Панков А. А. Исследование показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок : матеріали XI Міжнародної

науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 119-120.

Патенти на корисну модель

49. Пат. 108787 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01983; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.

50. Пат. 112482 Україна, МПК A01C 7/04. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01982; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.

51. Пат. 114711 Україна, МПК A01C 7/12. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 10952; заявл. дата 31.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

52. Пат. 115046 Україна, МПК A01C 7/12. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 11776; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

53. Пат. 115394 Україна, МПК A01C 7/00. Спосіб розподілення технологічного матеріалу / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, Т. М. Замота, А. В. Гриньків (Україна). - № u 2016 11778; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

54. Пат. 116994 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 13580; заявл. дата 29.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.

55. Пат. 122243 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2017 13580; заявл. дата 20.07.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

ABSTRACT

Pankov A. O. Scientific bases of increase of grain seeders′ efficiency of work by application of pneumatic sowing devices of discrete action. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the Doctor′s degree of Technical Sciences on specialty 05.05.11 – Machines and means of mechanization of agricultural production. – Central Ukrainian National Technical University (The Ministry of education of Ukraine), Kropyvnytskyi, 2018.

In this thesis the complex scientific and technical problem of increase of efficiency of use of grain seeders including the following components is solved: improvement of power efficiency of working process of the sowing systems, decrease in material intensity and traction resistance of seeders on the basis of application of pneumatic seeding devices of discrete action with elements of jet equipment, and also improvement of means of control, automation and informatization of process of sowing on the basis of mechatronic approach.

Theoretical studies are carried out on the basis of methods of data analyzing – evolutionary calculations, genetic algorithms and programming, Data Mining technology, stochastic forecasting and mathematical statistics, as well as methods of system analysis, automatic control theory, efficiency theory, hydrodynamic analogies and mechanics of granulated solids. The methods of aerodynamic computer simulation modeling and programming, industrial and private test methods of sowing devices and systems were used in the implementation of experimental studies. Processing of the results of experimental studies is carried out with the use of computer technology, using methods of mathematical analysis and mathematical statistics.

It is shown that the efficiency of grain seeders is currently determined comprehensively, based on the following indicators and criteria: the coefficients of variation of sowing H, $H_в$ and distribution of seeds V, productivity W, speed v, width B, the specific energy intensity of the seeder $E_{су}$ and its sowing system $E_{вс}$, the efficiency

of the sowing system $\eta_{вс}$, the structural mass $m_к$, the materials consumption $m_{уд}$ and the specific traction resistance $p_{уд}$, innovation, which is characterized by the coefficient of the technical level $k_{му}$, functional and structural integration of the I^{FS} automation and distribution of the functional load of I_g in them.

It is revealed that the reason of decrease in efficiency of application of grain seeders with traditional sowing systems are disproportionately increasing material and energy intensity of their designs and working process, and as a result, increase of traction and technological resistance. Consequently, the actual problem is the reduction of material consumption due to the fact that it exceeds the recommended values of 250...300 kg/m. The value of the intensity of the work of grain drills also exceed the recommended 10...15 kW/m.

It was found that for grain drills with mechanical sowing devices essentially will not be able to reduce the consumption of materials and energy consumption to the optimum in these social and techno-economic conditions, with the simultaneous proportional increase of efficiency and productivity. Since the effective use of such sowing systems has largely exhausted its potential, it is important to introduce new production technologies and mechanical and technological principles of sowing machines and sowing systems, with minimal energy production and operation, with automation and computerization of the working process.

Since agricultural machines operate in conditions caused by the interaction of processes of different nature, their research and development require a comprehensive solution of technical, technological, biological and social issues. This necessitates consideration of the various factors and elements of the same system. Therefore, the main methodological principle in this work is a systematic approach that allows you to develop and make the most rational decisions aimed at improving the efficiency of grain drills.

It is shown that at the present time to improve the productivity of cultivated MTA is promising an intense direction, based on improving speed up to 15 km/h and above. At the same time, it is necessary to reduce the energy costs associated with increasing the speed, which is possible through the use of new sowing systems of grain seeders with optimized energy consumption.

It is established that currently takes place vector-field direction of development of the seeding apparatus and systems for seeding machines. In vector-field systems there is a transition from mechanical fields to pulse and electromagnetic, the increase in dispersion of substances and the number of connections between the elements that is consistent with the trend whereby pulse electromagnetic fields are spread in the technique of agriculture. Therefore, a promising direction of improving the efficiency of technological process of seeding is a fundamental structural change through the application of vector-field discrete principle of operation of the sowing device associated flexible discrete synchronization with the movement of the sowing machine. At the same time, the discrete operating principle of sowing devices and systems allows more efficient automation of the working process, in contrast to the analog operating principle of traditional sowing devices.

Dependencies that are identified in the analysis and processing of the data characterizing the operation and construction of grain drills, allowed us to justify the complex universal criterion of the effectiveness of seeding machines, which is a parametric ratio that indicates the efficiency of production and operation of grain drills on the basis of rational use of energy. The ratio of energy cost, expressed specific traction resistance, increased specific productivity, i.e. p_{num}/W_{num} or cost-to-effectiveness compares the effectiveness of the sowing machine. The established unit of measure of the criterion corresponds to the physical equivalent-conditional dynamic viscosity μ*. Consequently, the physical meaning of the criterion under consideration is the ability of the machine to overcome resistance with maximum efficiency, and the design and technological parameters of different machines can be compared on the basis of the proposed criterion.

It is shown that the existing machines for sowing crops are not sufficiently prone to automation and operation in conditions of precision farming. It is established that the required alteration is associated with significant technical and financial costs, and practical implementation of many proposed technical solutions to the differentiation rate is not effective enough. At the same time, most of the existing technical means of differentiation of seeding rates are structurally redundant, with a negative indicator of functional and structural integration and uneven distribution of functional load. It is

shown that the presence of excess blocks leads to a decrease in the reliability and accuracy of automation systems, deterioration of their weight and size and cost indicators. The necessity to improve the index of functional-structural integration and functional load distribution in automation systems of sowing machines based on the use of intelligent mechatronic modules is proved.

It is established that the combination in the sowing machine of the layout scheme of group sowing with low material intensity and sowing systems with low energy intensity is possible only on the basis of the developed and tested pneumatic sowing devices of discrete action with elements of pneumonic. It allows to reduce power consumption of work of grain seeders on the average by 13%, to reduce their traction resistance on the average by 12%, and also to save operational and reduced expenses to 16% in comparison with the sowing machines based on a combination of other layout schemes and the sowing systems.

Key words: seed system, differentiated seeding, seeder, criterion of efficiency, mechatronic module, pneumonic, jetting element, the traction resistance, energy, efficiency, vector-field, discreteness, automation.

The main results of thesis are published in 55 scientific papers.

Monographs

1. Pankov A. A. Technical means of the seeding process on the basis of pneumonic elements: Monograph / A. A. Pankov, V. V. Aulin, M. I. Chernovol. – Kirovograd: publisher Lysenko V. F., 2016. – 232 p.

In professional journals

2. Pankov A. A. The feasibility of applying the theoretical justification of parameters of the active vortex dispenser seeds / A. A. Pankov, V. E. Kirichenko // Collection of scientific works of LSAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LSAU, 2001. – № 10/22. – P. 82–84.

3. Koval V. Y. The solution to the third problem of vibrorheology by fitting the theoretical data and generalization of the results obtained for different granular materials / V. Y. Koval, N. I. Voloshko, A. A. Pankov // Technology in agricultural production, industrial engineering, automation. Collection of scientific works of KSTU. – Vol.10. – Kirovograd: KSTU, 2001. - P. 59–63.

4. Pankov A. A. Transformation of Boolean algebra expressions by successive application of duality principle / A. A. Pankov, A. E. Petrenko, Y. A. Korchanova // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2002. – № 17/29. – P. 84–86.

5. Voloshko N. I. On the design and study of vibroblade of the plow / N. I. Voloshko, P. A. Ermak, A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2002. – № 17/29. – P. 39–41.

6. Pankov A. A. Perspective directions in development and improvement of sowing devices of row seeders / A. A. Pankov, V. E. Kirichenko // Mechanization of agriculture. Collection of scientific works of National Agrarian University. – T. XIV. – Kyiv, 2003. – P. 429–432.

7. Pankov A. A. Differentiated seeding on the basis of the elemental base of jet pneumoautomatics / A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2003. – № 31/43. – P. 167–170.

8. Pankov A. A. Improvement of dosing systems with elements of jet technology for ordinary crops / A. A. Pankov, V. Y. Koval, A. V. Scheglov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2004. – № 42/54. – P. 126–129.

9. Koval V. Y. The definition of the force of lateral pressure of sunflower seeds to the wall of the shallow vessel / V. Y. Koval, A. V. Scheglov, A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2004. – № 42/54. – P. 76–84.

10. Pankov A. A. A comparative analysis of the operational energy performance of the meter operation of seed drills / A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2005. – № 49/72. – P. 186–194.

11. Pankov A. A. Increase of productivity of sowing machines on the basis of rational use of energy / A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2006. – № 68/91. – P. 186–193.

12. Pankov A. A. Mechanical-technological basis to reduce energy costs at work planting machines / A. A. Pankov // Collection of scientific works of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2006. – № 65/88. – P. 164–173.

13. Pankov A. A. Improvement of pneumatic sowing devices / A. A. Pankov, A.V. Scheglov // Scientific Bulletin of LNAU. Special. Vol. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2011. – №30. – P.338–341.

14. The application of new information technologies in agriculture [Electronic resource] / A. A. Pankov, A. V. Scheglov, V. A. Kolesnikov // Scientific news of Dahl University. – 2012. – № 9 (180), Part. 2. – Mode of access: http://uran.donntu.org/~masters/2014/igg/knysh/library/17.htm

15. Pankov A. A. The analysis of the dynamics of the specific traction resistance of row seeders / A. A. Pankov, A. V. Scheglov // Technics at agricultural production, machinery construction, automatization. Collection of scientific works of KNTU. – Vol. 25, Part 1. – Kirovograd: KNTU, 2012. – P. 61–68.

16. Scheglov A. V. Bottom feed seed suction cups of the drum from the seed chamber / A. V. Scheglov, A. A. Pankov // Scientific Bulletin of LNAU. Series: Technical Sciences. – Lugansk: Publishing House of LNAU, 2013. – № 47. – P. 202–205.

17. Pankov A. A. The application of ejectors in pnevmojet technology of agro-industrial complex / A. A. Pankov, A. V. Scheglov // Design, production and operation of agricultural machinery. The national interdepartmental scientific-technical collection. – Kirovograd: KNTU, 2013. – Vol. 43, Part I. – P. 326–329.

18. Pankov A. A. The relevance and prospects of creation of modular machines for the cultivation of grain crops / A. A. Pankov // Design, production and operation of agricultural machinery. The national interdepartmental scientific-technical collection. – Kirovograd: KNTU, 2015. – Vol. 45, Part. I. – P. 239–246.

19. Aulin V. V. Feasibility study and analysis of prospects of accurate sowing of grain crops with pneumatic tools / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Design, production and operation of agricultural machinery. The national interdepartmental scientific-technical collection. – Kirovograd: KNTU, 2015. – Vol. 45, Part. 2. – P. 7–14.

20. Chernovol M. I. Simulation of power pneumatic elements of sowing devices / M. I. Chernovol, V. V. Aulin, A. A. Pankov // Bulletin of Engineering Academy of Ukraine – 2015. – № 4. – P. 175–179.

21. Pankov A. A. Devices and methods of automatic control based on pneumatic elements in agricultural mechanization / A. A. Pankov // Technics at agricultural production, machinery construction, automatization. Collection of scientific works KNTU. – Vol. 29. – Kirovograd: KNTU, 2016. – P. 76–82.

22. Aulin V. V. Reliable work processes of technical equipment of APC with elements of fluidics / V. V. Aulin, A. A. Pankov, T. N. Zamota // Technical services agricultural, forestry, and transport complexes. – 2016. – № 5. – P. 117–125.

23. Aulin V. V. The energy concept for the development of a seed system / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2016. – № 1. – P. 267–273.

24. Aulin V. V. Design–layout scheme of the seeding system with elements of fluidics / V. V. Aulin, A. A. Pankov, A. V. Scheglov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2016. – № 1. – P. 142–147.

25. Aulin V. V. Directions of development of a seed system / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov // Mechanization and electrification of agriculture [National collection]. – 2016. – Vol. № 3 (102) / [NSC «IMEA»]. – Glevaha, 2016. – P. 54–58.

26. Aulin V. V. The study of the formation of the original flow of seed by pneumatization dotted seeding / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2016. – № 2. – P. 27–32.

27. Pankov A. A. Energy performance of the working process of sowing machines and systems / A. A. Pankov // Technology in agricultural production, industrial engineering, automation. Collection of scientific works of CNTU. – Vol. 30. – Kropyvnytskyi: CNTU, 2017. – P. 28–36.

28. Aulin V. V. Experimental study of the jet sowing device / V. V. Aulin, A. A. Pankov, A. V. Scheglov, G. I. Anistratov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2016. – № 4. – P. 67–70.

29. Aulin V. V. Study of the release of tilled crops by pneumojet sowing device / V. V. Aulin, A. A. Pankov, A. V. Scheglov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2017. – № 1. – P. 221–225.

30. Aulin V. V. Pankov A.A. Evolutionary calculation of the life cycle of technical means based on genetic algorithms / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2017. – № 2. – P. 116–119.

31. Aulin V. V. Selection of speed sensor and reliability of its operation in the control unit of jet sowing system / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Technical services agricultural, forestry, and transport complexes. – № 8. – 2017. – P. 153–158.

32. Aulin V. V. Automation regulation of the seeding rate on the basis of the mechatronic implementation of software and hardware / V. V. Aulin, A. A. Pankov, M. I. Chernovol, A. G. Stahorskaya // Bulletin of engineering Academy of Ukraine. – 2017. – № 3. – P. 240–244.

33. Aulin V. V. The criterion of effectiveness of the use of grain drills with mechanical sowing machines / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. A. Pankov // Design, production and operation of agricultural machinery. The national interdepartmental scientific–technical collection. – Kropyvnytskyi: CNTU, 2017. – Vol. 47, Part 1. – P.40–46.

In foreign specialized publications

34. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199. (Foreign periodical).

35. Aulin V. V. Flow-program regulation of operating parameters of mobile technological machines / V. V. Aulin, A. A. Pankov, A. G. Stahorskaya // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Poland, Lublin, 2016. – Vol. 18, № 2. – pp. 25–32. (Foreign periodical).

36. Aulin V. V. Software and hardware means of differentiated dosing of technological materials / V. V. Aulin, A. A. Pankov // Forestry, natural resources management and processing of renewable resources. The works of BSTU. Series 1. – Minsk: BSTU, 2017. – № 1 (192). – P. 23–33. (Foreign periodical).

37. Aulin V. V. Functional and structural analysis of the system of seeding rate control in the information system of agriculture / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. A. Pankov // Technical support of innovative technologies in agriculture. Collection of scientific articles Of the international scientific-practical conference (Minsk, November 22-24, 2017). – Minsk, BSTU. – 2017. – P. 72–74. (Foreign periodical).

38. Aulin V. V. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov, T. M. Zamota, K. K. Panayotov // INMATEH. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 53, № 3. – pp. 21–28. (Foreign periodical).

Materials and abstracts of conferences

39. Pankov A. A. Application of elements of jet technology in agriculture, light and food industries: materials of V International scientific–practical conference ["The economic, environmental and social problems of the coal regions of the CIS"], (Krasnodon, 20 April 2012 y.) / The Ministry of education, EUNU named after V. Dahl, 2012. – P. 47–51.

40. Pankov A. A., Scheglov A. V. Qualitative system analysis of processes and phenomena in the technical support of agriculture: materials IX International scientific–practical conference [«Problems of design, production and operation of agricultural equipment»], (Kirovograd, KNTU, 2013 y.) / The Ministry of education, KNTU, 2013. – Vol.1. – P. 219–221.

41. Pankov A. A. Development and application of sowing systems with elements of jet pneumatic: materials of VI International scientific–practical conference ["The

economic, environmental and social problems of the coal regions of the CIS"], (Krasnodon, 19 April 2013 y.) / The Ministry of education, EUNU named after V. Dahl, 2013. – P. 65–67.

42. Pankov A. A. Trends in the development of technical means for growing crops in the agro-industrial complex: materials Ukrainian scientific–practical Internet–conference with international participation [«New materials and advanced technologies, health and vocational education»], (Lugansk, 4 April 2014 y.) / The Ministry of education, «LNU named after Taras Shevchenko», 2014. – P. 57–58.

43. Pankov A. A. Opportunities and challenges of using pneumatic devices in the technical means of APC: proceedings of the IX international scientific and practical conference ["Problems of mining and ecology of mining»],, (Antracyt, 24–25 April 2014 y.) / The Ministry of education, EUNU named after V. Dahl, 2014. – P.206–208.

44. Aulin V. V., Pankov A.A. Prospects of application of universal modular machines in crop production: materials X International scientific–practical conference [«Problems of design, production and operation of agricultural equipment»], (Kirovograd, KNTU, 2015 p.) / The Ministry of education, KNTU, 2015. – P. 4.

45. Aulin V. V., Pankov A. A., Stahorskaya A. G. Control of the dosing devices in information systems for agriculture: materials IX International scientific–practical conference [«Integrated intellectual robot-technical complexes» (IIRTC–2016) »], (Kyiv, 17-18 May 2016 y.) / The Ministry of education, K.: NAU, 2015. – P. 193–195.

46. Aulin V. V., Pankov A. A., Scheglov A. V. Improving the efficiency of the workflow of the forest of seeders through the use of elements and devices pnevmojet equipment: proceedings of the 81st scientific and technical conference of the faculty, researchers and postgraduates (with international participation) ["technology and technology of the forest industry»], (Minsk, 02-07 February 2017 y.) / Minsk: BSTU. – P.129–130.

47. Aulin V. V., Pankov A. A. Pneumojet control elements of a seed system seeding machines: the materials of I all–Ukrainian scientific-practical conference ["Prospects and tendencies of development of designs and technical service of agricultural machinery and implements"], (Zhitomir, 29–30 March 2017 y.) / The Ministry of education, ZhNAU, 2017. – P. 6–8.

48. Aulin V. V., Pankov A. A. A study of indicators of the effectiveness of the structures and workflow of grain drills: materials XI International scientific–practical conference [«Problems of design, production and operation of agricultural equipment»], (Kropyvnytskyi: CNTU, 2017 p.) / The Ministry of education, CNTU, 2017. – P. 119-120.

The utility model patents

49. Pat. 108787 Ukraine, MPK A01C 7/04. Pneumatic sowing system / V. V. Aulin, V. Y. Koval, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2016 01983; declared 29.02.2016; published 25.07.2016, Vol. № 14.

50. Pat. 112482 Ukraine, MPK A01C 7/04. Method of pneumatic seeding / V. V. Aulin, V. Y. Koval, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2016 01982; declared 29.02.2016; published 26.12.2016, Vol. № 24.

51. Pat. 114711 Ukraine, MPK A01C 7/12. Method of pneumatic seeding / V. V. Aulin, V. Y. Koval, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2016 10952; declared 31.10.2016; published 10.03.2017, Vol. № 5.

52. Pat. 115046 Ukraine, MPK A01C 7/12. Pneumatic sowing system / V. V. Aulin, V. Y. Koval, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2016 11776; declared 21.11.2016; published 10.04.2017, Vol. № 7.

53. Pat. 115394 Ukraine, MPK A01C 7/00. The method of distribution of technological material / V. V. Aulin, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, T. M. Zamota, A. V. Hrynkiv (Ukraine). - № u 2016 11778; declared 21.11.2016; published 10.04.2017, Vol. № 7.

54. Pat. 116994 Ukraine, MPK A01C 7/04. Pneumatic sowing system / V. V. Aulin, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2016 13580; declared 29.12.2016; published 12.06.2017, Vol. № 11.

55. Pat. 122243 Ukraine, MPK A01C 7/04. Pneumatic sowing system / V. V. Aulin, A. O. Pankov, A. V. Scheglov, A. V. Hrynkiv, T. M. Zamota (Ukraine). - № u 2017 13580; declared 20.07.2017; published 26.12.2017, Vol. № 24.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ…….. 32
ВСТУП…….. 34
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ТА МЕТОДІВ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ……... 48
1.1 Обґрунтування підходу до аналізу проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок……...……. 48
1.2 Аналіз показників якості висівних систем зернових сівалок та агробіологічна оцінка їх роботи…… 50
1.3 Продуктивність посівних агрегатів в проблемі підвищення ефективності їх функціонування…… 52
1.4 Аналіз показників матеріаломісткості конструкцій та енерговикористання в робочому процесі зернових сівалок…… 56
1.4.1 Аналіз показників матеріалоємності зернових сівалок…… 56
1.4.2 Енергоефективність і енерговикористання в технічних засобах механізації сільськогосподарського виробництва…… 58
1.4.3 Аналіз існуючих критеріїв ефективності конструкцій та робочого процесу сільськогосподарських машин……. 60
1.5 Технічний рівень і перспективні напрями розвитку і вдосконалення посівних машин, висівних апаратів і систем на основі фізичних процесів і фізико-технічних методів……. 64
1.5.1 Сучасні концепції розвитку машин для сівби зернових культур… 64
1.5.2 Напрями розвитку та вдосконалення висівних систем із використанням фізичних процесів і фізико-технічних методів…….. 68
1.6 Вепольний напрямок розвитку висівних систем…….. 85
1.7 Розвиток технічних засобів для реалізації нових технологій посіву..... 86
1.7.1 Посівні машини для мультигібридної технології……. 86
1.7.2 Сівалки точного посіву зернових культур……. 87

1.7.3 Швидкісна сівба зернових культур…… 89

1.8 Аналіз стану автоматизації та інформатизації робочого процесу зернових сівалок……... 90

1.8.1 Напрямки автоматизації робочого процесу сільгоспмашин…… 90

1.8.2 Диференційований висів у системі точного землеробства. Особливості та переваги диференційованого висіву……... 94

1.8.3 Реалізація диференційованого висіву та інформатизації робочого процесу посівних машин……. 95

1.8.4 Аналіз технічних засобів для реалізації диференційованого висіву зернових культур……...……... 97

1.8.5 Недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації зернових сівалок до диференційованого висіву в технологіях точного землеробства…. 108

1.9 Сутність проблеми ефективності роботи зернових сівалок, кількісне визначення показників ефективності та обґрунтування шляхів вирішення проблеми…… 108

Висновки по першому розділу. Мета і завдання досліджень……... 113

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ…… 118

2.1 Розробка структурної послідовності теоретичних досліджень показників ефективності зернових сівалок……... 118

2.2 Обґрунтування гіпотези теоретичних досліджень показників ефективності……. 119

2.3 Вибір методів і методик аналізу показників ефективності в теоретичних дослідженнях…….. 120

2.4 Закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з механічними висівними апаратами…… 121

2.5 Визначення закономірностей зміни динаміки питомого тягового опору зернових сівалок……... 128

2.6 Інтерпретація отриманих даних показників ефективності для сівалок з механічними висівними апаратами…… 132

2.7 Прогнозування показників ефективності для зернових сівалок з механічними висівними апаратами…… 134

2.8 Закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами……... 139

2.9 Прогнозування показників ефективності для зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами……... 145

2.10 Критерій ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок……... 147

2.11 Аналітичне визначення критерію ефективності конструкцій і робочого процесу посівних машин…… 151

2.12 Функціонально-структурний аналіз систем автоматизації та управління нормою висіву…….. 162

2.12.1 Структурний синтез мехатронного модуля управління висівом... 162

2.12.2 Метод функціонально-структурної інтеграції систем регулювання норми висіву…….. 166

2.12.3 Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої……... 167

2.13 Обґрунтування комплексного універсального критерію ефективності роботи технічних засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин……. 173

2.13.1 Методологічні основи обґрунтування комплексного універсального критерію ефективності…….. 173

2.13.2 Визначення виду та чисельного значення комплексного універсального критерію ефективності на основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників роботи технічних засобів механізації…... 174

2.14 Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента…… 180

2.15 Дослідження передачі механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі……... 182

2.16 Дослідження показників робочого процесу пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки…… 188

2.16.1 Визначення діапазону норм висіву зернових культур висівним апаратом маятникового типу…….. 188

2.16.2 Визначення енергетичних показників роботи висівного апарату.. 190

2.16.3 Визначення енергетичних показників роботи насіннєпроводів… 191

Висновки по другому розділу……... 195

РОЗДІЛ 3 МЕТОДОЛОГІЯ І ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ…….. 199

3.1 Обґрунтування загального підходу і структури експериментальних досліджень у вирішенні проблеми підвищення ефективності робочого процесу зернових сівалок, висівних апаратів і систем……. 199

3.2 Методи і методики експериментальних досліджень вирішення проблеми підвищення ефективності робочого процесу зернових сівалок, висівних апаратів і систем…….. 201

3.2.1 Програма і методи експериментальних досліджень……. 201

3.2.2 Прилади, обладнання і матеріали для виконання завдань експериментальних досліджень…….. 202

3.2.3 Методи проведення експериментальних досліджень та обробка бази експериментальних даних…….. 203

3.3 Методика досліджень реологічних властивостей технологічних матеріалів…….. 206

3.4 Методи експериментальних досліджень силових струминних елементів……... 208

3.4.1 Струминний елемент як об'єкт моделювання та оптимізації……... 210

3.4.2 Методика імітаційного моделювання робочого процесу бістабільного силового струминного елемента…… 211

3.4.3 Методи досліджень струминного елемента-ежектора…….. 213

3.5 Методика стендових досліджень розроблених струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки…… 215

3.5.1 Дослідження запропонованих струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки на нерівномірність і нестійкість висіву……... 215

3.5.2 Методика дослідження поздовжнього розподілу насіння струминними висівними пристроями з елементами пневмоніки…… 220

3.6 Методика досліджень управління процесом висіву на основі програмно-апаратного комплексу з мехатронним модулем…… 223

3.7 Методика визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем……... 225

3.7.1 Вибір і обґрунтування методики та критеріїв оцінки енергетичної та техніко-економічної ефективності…… 225

3.7.2 Методика вибору нормативної бази для порівняння при визначенні очікуваного техніко-економічного ефекту досліджень……... 226

Висновки по третьому розділу…… 227

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВИСІВНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ СТРУМИННОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИСІВОМ…….. 229

4.1 Обґрунтування конструктивно-компонувальних схем струминних висівних апаратів, пристроїв і систем з елементами пневмоніки……... 229

4.2 Розробка схеми висівної системи з елементами пневмоніки для зернової сівалки……... 244

4.3 Вирішення питань надійності, обслуговування та виявлення переваг запропонованих висівних систем с елементами пневмоніки…… 245

4.4 Реалізація мехатронного підходу в автоматизації регулювання норми висіву…… 248

4.5 Розробка програмно-апаратного комплексу регулювання норми висіву висівних апаратів з елементами пневмоніки…… 252

4.5.1 Вибір і обґрунтування апаратної платформи мехатронного модуля управління нормою висіву……. 252

4.5.2 Розробка програмного забезпечення регулювання норми висіву для апаратної платформи…… 254

4.6 Концепція автоматизації зернових сівалок на основі розподіленої системи управління мехатронними модулями…… 257

Висновки по четвертому розділу……. 259

РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВИСІВНИХ СИСТЕМ…… 261

5.1 Результати визначення початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби……... 261

5.2 Обґрунтування вибору геометричних характеристик силового струминного елемента……. 262

5.3 Результати імітаційного моделювання функціонування силового струминного елемента в програмному середовищі Ansys Fluent…… 266

5.3.1 Імітаційне моделювання газодинамічних процесів, що відбуваються протягом повного циклу перемикання струминного елемента... 266

5.3.2 Аналіз результатів імітаційного моделювання функціонування силових струминних елементів…….. 271

5.4 Результати стендових випробувань силового струминного елемента…… 273

5.5 Результати стендових випробувань силового елемента-ежектора…. 276

5.6 Результати експериментальних досліджень висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки……... 277

5.6.1 Результати досліджень нерівномірності і нестійкості висіву запропонованими висівними апаратами…… 277

5.6.2 Результати досліджень поздовжнього розподілу насіння…… 282

5.7 Результати випробувань автоматизованої системи регулювання норми висіву……. 291

Висновки по п'ятому розділу…… 293

РОЗДІЛ 6 ЕНЕРГЕТИЧНА І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ…….. 295

6.1 Оцінка питомої енергоємності зернових сівалок……. 295

6.1.1 Оцінка питомої енергоємності зернових сівалок з висівними апаратами та системами аналогової дії…… 295

6.1.2 Питома енергоємність зернових сівалок з висівними апаратами та системами вепольного дискретного принципу дії……... 303

6.2 Оцінка коефіцієнта корисної дії висівних апаратів для зернових сівалок та питомої енергоємності роботи висівних пристроїв…… 308

6.3 Оцінка технічного рівня висівних апаратів і систем та коефіцієнта корисного використання енергії по окремому виду енергоносія…… 311

6.4 Експлуатаційно-технологічна оцінка посівних агрегатів. Розрахунок приведених витрат на виконання посівних робіт……. 313

6.4.1 Вибір вихідних даних для експлуатаційно-технологічної оцінки посівних агрегатів…… 314

6.4.2 Розрахунок економічних показників…….. 318

6.4.3 Порівняння і вибір переважних показників ефективності конструкцій і роботи висівних систем і посівних машин…… 321

6.5 Рекомендації виробництву щодо вдосконалення засобів механізації сівби зернових культур…… 323

Висновки по шостому розділу……. 328

ВИСНОВКИ……... 330

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 334

ДОДАТКИ……... 401

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АВМ – апарат висівний маятниковий;

АПК – агропромисловий комплекс;

АСУ – автоматизована система управління;

ВА – висівний апарат;

ВВП – вал відбору потужності;

ВЛКТ – ваги лабораторні квадрантні;

ВС – висівна система;

ВСС – висівна система Сухіна;

ГПІ – генератор пневматичних імпульсів;

ГСП – глобальна система позиціонування;

ІММ – інтелектуальний мехатронний модуль;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МТА – машинно-тракторний агрегат;

НМП – напоромір мембранний показовий;

ОПК – опорно-приводне колесо;

ПАК – програмно-апаратний комплекс;

ПКВК – пристрій керування вихровим клапаном;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

ППІ – підсилювач пневматичних імпульсів;

ППМ – перемикач пневматичний багатопозиційний;

ПЦВС – пневматична централізована висівна система;

РНВ – регулювання норми висіву;

РФН – розподілення функціонального навантаження;

САУ – система автоматичного управління;

СВД – сівалка вібродискретна;

СВС – струминна висівна система;

СГВ – сільськогосподарське виробництво;

СГМ – сільськогосподарська машина;

СГТ – сільськогосподарська техніка;

СЗ – сівалка зернова;

СЗА – сівалка зернова анкерна;

СЗГ – сівалка зернова гірська;

СЗД – сівалка зернова дискова;

СЗК – сівалка зернова комбінована;

СЗЛ – сівалка зернова льняна;

СЗМ – сівалка зернова механічна;

СЗО – сівалка зернова з однодисковими сошниками;

СЗП – сівалка зернова пресова;

СЗПЦ – сівалка зернова пневматична централізованого висіву;

СЗС – сівалка зернова стерньова;

СЗТ – сівалка зернова трав'яна;

СЗУ – сівалка зернова вузькорядна;

СЗШП – сівалка зернова шеренгова причіпна;

СК – самохідний комбайн;

СПР – сівалка пневматична для сівби рапсу і зернових культур;

СПУ – сівалка пневматична універсальна;

СРН – сівалка рисова навісна;

СТІЗ – система точного інформаційного землеробства;

СУП – сівалка універсальна пневматична;

ТНМП – тягонапоромір мембранний показовий;

ФІПТ – формувач імпульсів постійної тривалості;

ФСІ – функціонально-структурна інтеграція;

GPS – global positioning system;

IDE – Integrated Development Environment;

MSD – MaterMacc seeding drill

ВСТУП

Пріоритетність розвитку машинобудування для агропромислового комплексу визнана в 2002 році Законом України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу (АПК)». При цьому Кабінетом Міністрів України була схвалена концепція Державної програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі. Як зазначається в цьому документі, метою даної програми є підвищення рівня технічного забезпечення АПК України на основі розвитку вітчизняного машинобудування для сільськогосподарського виробництва, ефективність використання матеріально-технічної бази, зменшення залежності від імпорту сільгосптехніки. Завданнями програми є:

- забезпечення інформатизації механізованого виробництва сільськогосподарської продукції з використанням наукомістких технологій і підвищення її конкурентоспроможності;
- зменшення затрат матеріально-технічних і енергетичних ресурсів на виробництво сільгосппродукції і залежності АПК від імпорту техніки;
- сприяння розвитку вітчизняного сільськогосподарського машинобудування;
- формування і розвиток ринку матеріально-технічних і енергетичних ресурсів.

Дефіцит і дорожнеча енергоресурсів, скорочення орних земель, зміна клімату – все це ставить перед сільським господарством проблему не тільки в збільшення виробництва продукції за рахунок підвищення врожайності, але і збереження родючість ґрунтів, зменшення витрат енергії, праці й матеріалів на одиницю виробленої продукції. Вирішальна роль у впровадженні технологій, здатних розв'язати ці проблеми, відводиться сільськогосподарським машинам. Важливою особливістю діяльності АПК, як основи продовольчої безпеки України, є необхідність постійного оновлення матеріально-технічної бази і

особливо активної її частини – сільськогосподарської техніки.

Серед найважливіших завдань створення техніки нового покоління можна виділити чотири світові тенденції, які визначають розвиток галузі:

- впровадження високоточних (прецизійних) технологій землеробства і, як наслідок, впровадження засобів і пристроїв автоматизації для точного землеробства та широке застосування агроінформатики, електроніки, інтелектуальних, автоматизованих і роботизованих систем;
- підвищення технічного рівня, якості і надійності техніки, зниження матеріалоємності машин, застосування індивідуальних приводів виконавчих робочих органів;
- формування агрегатів з максимальним ступенем поєднання технологічних операцій;
- ресурсозбереження, впровадження зонально-адаптованих ресурсо- і енергозберігаючих технологій рослинництва, застосування альтернативних джерел енергії.

Ресурсозбереження є важливим напрямком структурної перебудови методів ведення сільськогосподарського виробництва, пов'язаним з глибокою технічною і технологічною модернізацією. Ефективність застосування ресурсозберігаючих технологій значною мірою залежить від формування машинно-тракторного парку, який необхідно складати з сучасної високопродуктивної інтелектуальної техніки. Отже, проблема підвищення продуктивності та ресурсозбереження головним чином вирішується шляхом використання новітньої техніки. Тому розробка технічних можливостей для реалізації даних напрямків є основною науково-технічною метою підвищення ефективності рослинництва.

Досягти мети зниження витрат енергії і підвищення ефективності застосування машин можна різними шляхами, однак найбільш радикальним шляхом з них є зміна принципів виконання технологічних процесів і механіко-

технологічних принципів дії технічних засобів, у тому числі посівних машин, висівних апаратів і систем.

У загальному комплексі агротехнічних заходів по вирощуванню сільськогосподарських культур важливе місце належить сівбі. Цю технологічну операцію можна вважати основною і визначальною як з агрономічної, так і з техніко-економічної сторін.

До сучасних посівних машин пред'являються наступні вимоги: висока продуктивність і надійність в роботі; зручність в обслуговуванні; висока якість висіву і загортання насіння; малі матеріалоємність і енергоспоживання; покращене художньо-естетичне оформлення.

Тому підвищення ефективності застосування посівних машин шляхом подальшого удосконалення існуючих і створення нових робочих органів для більш якісного виконання технологічного процесу висіву є одним з основних завдань сучасного розвитку сільськогосподарської техніки.

Актуальність теми. В даний час сівба багатьох культур виконується за застарілими технологіями недосконалими посівними машинами. Монопольне становище займає посів зернових культур рядовими сівалками типу С3-3,6, хоча відомо, що вони є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає більшості сучасних вимог, допускає до 10...30% перевитрат посівного матеріалу та його пошкодження. Недосконаліть посівних машин призводить до зниження врожайності на 15...30%. Особливістю технічної політики в цьому напрямі має бути не тільки модернізація існуючих сівалок, але й створення машин нового покоління.

Темпи інноваційного розвитку сільського господарства на сьогодні недостатні, що є причиною зниження ефективності застосування передових технологій й негативно позначається на конкурентоспроможності продукції. Розробка нової, більш ефективної сільськогосподарської техніки (СГТ) стримується через повільні темпи створення і впровадження нових робочих

органів, що мають задовольняти зростаючим вимогам за якісними та енергетичними показниками роботи.

Через те, що існуючі можливості підвищення ефективності застосування техніки практично вичерпані, то все більшого значення набуває подальше впровадження інтелектуальних і автоматизованих систем, роботизації, широке застосування електроніки та систем точного інформаційного землеробства. Значні витрати на розширення можливостей традиційних механічних систем вже себе не виправдовують, і при цьому, очевидне, істотне уповільнення темпів зростання основних характеристик, показників роботи і функціональних можливостей СГТ.

У порівнянні із розвинутими аграрними країнами, вітчизняні сільськогосподарські виробники недостатньо використовують технічні та технологічні досягнення науки і передового досвіду, а заводи випускають морально застарілу техніку, розроблену 30...40 років тому. При цьому вимушено застосовуються спрощені екстенсивні технології з використанням техніки третього, іноді четвертого, технологічних укладів, розраховані на використання природної родючості ґрунту, але по продуктивності в 10...15 разів нижче, у порівнянні з передовими країнами світу. Техніка п'ятого технологічного укладу, що використовується в нових технологіях, повинна забезпечити прецизійне інформаційне управління процесами вирощування сільськогосподарських культур.

Щоб подолати об'єктивно виникаючі причини зниження ефективності машин, технологічних і виробничих процесів, необхідно створити умови для переходу на наступний етап технічного прогресу. Це можна забезпечити за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, технологічних, конструктивно-компонувальних схем і параметрів машин. Тому створення наукових основ підвищення ефективності роботи зернових сівалок розробкою нових технічних рішень із застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії є безумовно актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до "Національної програми розвитку агропромислового виробництва і відродження села України" на 1999-2010 роки; згідно «Стратегії пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки в Україні на 2011-2020 роки, а саме – новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та АПК»; згідно «Програми впровадження регіональних наукових досліджень у промислове виробництво Кіровоградської області на 2017-2020 роки», а також згідно напрямків наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ) за темами «Розробка та впровадження нових технологій у виробництві та ремонті сільськогосподарської та автотракторної техніки» (№ ДР 0116U008106) та «Наукові основи підвищення ефективності висівних систем застосуванням струминних елементів та пристроїв» (№ ДР 0116U008109).

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка наукових основ підвищення ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії на основі елементів пневмоніки.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні завдання досліджень:

- на основі аналізу стану проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок встановити чинники ефективності, формалізувати їх у вигляді комплексу показників, обґрунтувати методологічну основу їх покращення і визначити напрям оптимального вирішення проблеми;
- дослідити закономірності динаміки зміни значень показників ефективності, що характеризують конструкції і робочий процес зернових сівалок, та з'ясувати напрями удосконалення, розробки і застосування зернових сівалок;
- на основі аналізу отриманих даних зміни значень показників ефективності та загального співвідношення між витратами і продуктивністю запропонувати і

обґрунтувати комплексний критерій ефективності, визначити його фізичний зміст і величину для зернових сівалок з різними висівними системами;

- здійснити функціонально-структурний аналіз і визначити розподіл функціонального навантаження в системах управління висівом, дослідити передачу механічної енергії струменями в силових струминних елементах для вдосконалення пневматичних висівних систем дискретної дії та визначити енергетичні характеристики їх роботи;

- обґрунтувати геометричні характеристики силових струминних елементів висівних апаратів, провести гідродинамічне імітаційне комп'ютерне моделювання силового елемента та стендове випробування оптимізованого силового струминного елемента і елемента-ежектора для отримання характеристик робочого процесу;

- удосконалити конструктивно-компонувальні схеми пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки для створення та подачі по сошниках вихідного потоку насіння в зернових сівалках, зробити вибір і обґрунтування апаратної платформи модуля управління висівом та розробити програмне забезпечення регулювання норми висіву;

- експериментально дослідити закономірності зміни показників, що характеризують процес висіву розробленими пневматичними апаратами і системами дискретної дії;

- встановити енергетичну і техніко-економічну ефективність застосування розроблених пневматичних висівних апаратів і пристроїв дискретної дії з елементами пневмоніки у порівнянні з іншими висівними апаратами і системами зернових сівалок.

Об'єкт досліджень – робочий процес зернових сівалок і висівних систем, ефективність його реалізації та управління у відповідності з сучасним рівнем розвитку техніки та технологій вирощування зернових культур.

Предмет досліджень – механіко-технологічні і фізико-технічні закономірності, що визначають ефективність робочого процесу, принципи дії і конструктивно-компонувальні схеми зернових сівалок та висівних систем.

Методи досліджень. Загальною методологічною основою досліджень є системний підхід та його методи, зокрема, інтелектуальний аналіз даних із застосуванням еволюційних обчислень, генетичних алгоритмів і програмування, технології Data Mining, стохастичного прогнозування і математичної статистики (для визначення динаміки значень показників ефективності роботи зернових сівалок). Теоретичні дослідження проведені на основі методів теорії автоматичного управління (для визначення показників функціонально-структурної інтеграції та розподілу функціонального навантаження в засобах автоматизації процесу висіву), гідроаеромеханіки (для дослідження передачі механічної енергії струменем в силовому елементі пневмоніки та для дослідження енергетичних характеристик роботи пневматичних висівних систем дискретної дії), гідромеханічних подібностей і механіки сипких середовищ (для аналітичного визначення критерію ефективності конструкцій і застосування зернових сівалок), теорії ефективності (для обґрунтування комплексного універсального критерію ефективності). При виконанні експериментальних досліджень використані методи аеродинамічного комп'ютерного імітаційного моделювання (для моделювання течій робочого тіла в силових струминних елементах і визначення їх оптимальних геометричних характеристик) і програмування (для розробки програмного забезпечення еволюційних обчислень та програмного забезпечення регулювання норми висіву), галузеві і приватні методики випробувань висівних апаратів і систем (для перевірки розроблених пневматичних дискретних висівних пристроїв з елементами пневмоніки). Обробку результатів експериментальних досліджень здійснювали із застосуванням комп'ютерних технологій, використанням методів математичного аналізу і математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розв'язанні проблеми, обґрунтуванні та подальшому розвитку наукових основ підвищення ефективності конструкцій і роботи зернових сівалок на основі методології системного підходу та його методів, що дозволило встановити системоутворюючі закономірності оцінки ефективності застосування сільськогосподарської техніки.

Вперше:

- встановлено тенденцію вепольного напряму розвитку висівних апаратів і систем посівних машин та з'ясовано, що у вепольних системах розвиток йде в напрямку переходу від аналогових механічних впливів до дискретних імпульсних і електромагнітних впливів, що дозволило обґрунтувати раціональність рішення по вибору пневматичної висівної системи дискретної дії;

- запропоновано мехатронну концепцію автоматизації роботи висівних апаратів і диференційованого висіву та встановлено підвищення показника функціонально-структурної інтеграції засобів автоматизації, що дозволяє розробляти та застосовувати мехатронні модулі для управління процесом висіву, в яких максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі, а розподіл функціонального навантаження в системі автоматизації є більш рівномірним.

- запропоновано та обґрунтовано комплексний критерій оцінки ефективності конструкцій і роботи зернових сівалок, що враховує витрати енергії і продуктивність, та узагальнено його для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки.

Удосконалено:

- метод теоретичних досліджень передачі механічної енергії плоскими струменями в силових струминних елементах, що дозволило встановити виникнення складних вторинних течій у вигляді зворотних потоків при взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента, які істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі;

- метод розробки і дослідження силових елементів пневмоніки шляхом імітаційного моделювання їх робочого процесу в програмному середовищі ANSYS Fluent, що дало можливість отримати повну картину процесу перемикання і характеру виникнення пульсацій тиску внаслідок виникнення вторинних течій і зворотних потоків робочого тіла.

Отримав подальший розвиток:

– метод застосування еволюційних обчислень, на основі якого встановлено, що розвиток традиційних зернових сівалок описується логістичною *S*-подібною функцією із досягненням насичення, а закладений принцип дії по показникам техніко-економічної ефективності приймає граничні характеристики, тому підвищення ефективності конструкцій і робочого процесу можливе на основі зміни механіко-технологічного принципу дії висівних систем і конструктивно-компонувальних схем сівалок.

Практичне значення отриманих результатів. На основі виконаних експериментальних і теоретичних досліджень робочого процесу зернових сівалок та управління ним вирішена комплексна проблема підвищення їх ефективності розробкою технології висіву зернових культур на основі сімейства пневматичних висівних пристроїв дискретної дії, які дозволяють зменшити енергоємність роботи зернових сівалок, знизити їх тяговий опір, більш ефективно здійснювати автоматизацію. При цьому:

- розроблено методику та програмне забезпечення для еволюційних обчислень життєвого циклу посівних машин на основі генетичних алгоритмів, що дозволяє приймати раціональні рішення в складних системах, з метою знаходження періоду ефективного використання певних видів машин і технічних систем;

- в результаті аеродинамічного моделювання отримано оптимальні геометричні співвідношення в силових струминних елементах, що дозволило розробити силові струминні елементи, а також елемент-ежектор для пневматичних висівних пристроїв дискретної дії;

- запропоновано та досліджено способи пневмоструминного висіву і розподілу технологічного матеріалу, підтверджені патентами України на корисну модель № 112482, № 114711, № 115394;

- розроблено і випробувано конструкції нових пневматичних дискретних висівних систем з елементами пневмоніки і струминної техніки, підтверджені патентами України на корисну модель №108787, №115046, №116994, №122243;

- запропоновано конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компонувальною схемою групового висіву і дискретною пневматичною висівною системою на основі елементів струминної техніки, що дозволяє знизити матеріалоємність конструкції, питомий тяговий опір, приведені витрати і енергоємність роботи, покращити якісні показники процесу висіву у порівнянні з сівалками з пневматичними централізованими висівними системами (ПЦВС), а також підвищити швидкість руху на сівбі зернових культур;

- розроблено мехатронний програмно-апаратний комплекс регулювання норми висіву для дискретних пневматичних висівних систем з елементами струминної техніки, що дозволяє більш ефективно здійснювати автоматизацію і інформатизацію робочого процесу зернових сівалок;

На основі результатів досліджень розроблено рекомендації виробництву щодо вдосконалення засобів механізації сівби зернових культур, які прийняті до впровадження у ТОВ НВП «Союз-Композит» Дніпропетровської області, м.Дніпро; в ПАТ «Рівнесільмаш» Рівненської області, Рівненського району, смт.Квасилів; у ТДВ «Булат» Тернопільської області, смт. Микулинці; у ПП «Астарта Груп», м. Кропивницький; у СВК «Україна» Добровеличківського району Кіровоградської області, с. Тишківка та використовуються у навчальному процесі кафедри «Експлуатація і ремонт машин» (ЕРМ) ЦНТУ при проведенні лекційних, лабораторних та практичних занять по дисциплінам «Теорія технічних систем», «Математичне моделювання технічних систем і процесів», «Технологія виробництва сільськогосподарської продукції», «Прогнозування та напрями

розвитку сільськогосподарської техніки», «Основи автоматики та автоматизації сільськогосподарської техніки», «Технологія механізованих робіт в рослинництві», «Надійність сільськогосподарської техніки» та інших дисциплінах кафедри «ЕРМ» ЦНТУ.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні положення та експериментальні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Без співавторів опубліковано наукові праці [7, 10, 11, 12, 18, 21, 27, 39, 41, 42, 43]. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем: проведено енергетичну оцінку показників робочого процесу висівних апаратів і систем, обґрунтовано спосіб адаптації висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки до диференційованого висіву [1]; теоретично визначена мінімальна швидкість руху насіння у вихровому розподільнику [2]; визначені значення зв'язності і частоти досягнення псевдорідинного стану насіння [3]; запропоновано принцип двоїстості для спрощення тотожностей Булевої алгебри [4]; досліджено реологічні характеристики ґрунту [5]; запропоновано напрями вдосконалення висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки [6]; розроблено нові конструкції висівних пристроїв з елементами пневмоніки [8]; експериментально досліджено реологічні характеристики насіння [9]; запропоновано конструкцію універсального висівного апарата з елементами пневмоніки для рядкової сівби [13]; обґрунтовано рішення щодо використання портативних обчислювальних пристроїв в технологіях СТІЗ [14]; встановлена темпоральна залежність динаміки значень питомого тягового опору зернових сівалок [15]; проведено порівняльний аналіз верхньої і нижньої подачі насіння [16] та експериментальні дослідження елемента-ежектора плоского типу [17]; проведені теоретичні і експериментальні дослідження траєкторії польоту насіння на виході з пневмоструминного висівного апарату [19]; запропоновані конструктивні схеми силових струминних елементів [20]; розглянуто умови роботи елементів пневмоніки на посівній техніці [22]; визначено підведену і

споживану потужність, ККД висівних систем [23]; обґрунтовано конструктивно-компонувальні схеми висівних пристроїв з елементами пневмоніки для рядкових сівалок [24]; визначені енерговитрати при роботі висівних систем рядкових сівалок [25]; проведено теоретичні і експериментальні дослідження процесу висіву [26]; вдосконалено конструкцію маятникового висівного апарата з елементами пневмоніки [28]; визначена рівномірність розподілу насіння при швидкісній сівбі пневмоструминним висівним апаратом [29]; розроблено програмне забезпечення для еволюційних обчислень [30]; вдосконалено конструкції струминних датчиків [31]; розроблено програмно-апаратне забезпечення [32]; визначено чисельні значення критерію ефективності зернових сівалок [33]; розроблено висівну систему з вихровим розподільником насіння [34] та апаратну схему реалізації поточно-програмного регулювання норм внесення технологічних матеріалів [35]; обґрунтовано вибір програмно-апаратних засобів диференційованого дозування технологічних матеріалів [36]; визначені показники функціонально-структурної інтеграції в засобах автоматизації процесу висіву [37]; експериментально досліджені висівні пристрої для посіву зернових культур [38]; встановлена тенденція вепольного напрямку розвитку висівних пристроїв [40] та зниження віддачі виробничих фондів і ефективності застосування технічних засобів [44]; систематизовано проблеми адаптації посівних машин до диференційованого висіву [45]; розглянуто застосування пневмоніки у висівних пристроях сівалок [46]; визначено уточнені геометричні характеристики силових струминних елементів [47]; встановлено відповідність *S*-подібній функції зміни технологічних показників зернових сівалок [48]; запропоновані турбулізація для поліпшення розподілу насіння [49] та блокове компонування висівного пристрою [50]; запропоновано застосування моностабільного силового струминного елемента [51], вихрового клапана [52] та дифузора [53]; запропоновано дроселювання витрати повітря [54]; розроблено виконуючий механізм [55].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на конференціях: співробітників та викладачів ЦНТУ (м. Кропівницький, 2013-2017 рр.); факультету механізації (м. Луганськ, ЛНАУ, 2001-2006 рр.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції "Механізація і енергетика сільського господарства" MOTROL'03, (м. Київ, НАУ, 2003 р.); на V, VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД» (м. Краснодон, факультет інженерії і менеджменту, 2012, 2013 рр.); на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції з міжнародною участю «Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта» (м. Луганск, ЛНУ ім. Т. Шевченко, 2014 р.); на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми гірництва та екології гірничого виробництва» (м. Антрацит, 2014 р.), на IX, X, XI Міжнародних науково-практичних конференціях "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки" (м. Кропивницький, 2013, 2015, 2017 рр.); на розширеному науково-технічному семінарі факультету механізації сільського господарства (м. Дніпропетровськ, ДДАЕУ, 2016 р.); на науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Дніпропетровськ, 2016 р.); на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (м. Київ, НАУ, 2016); на 81 Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників та аспірантів, з міжнародною участю (м. Мінськ, БДАТУ, 2017 р.); на науково-практичних конференціях "Проблеми надійності машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва" (м. Харків, ХНТУСГ, 2016, 2017 рр.), на III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с.-г. машин і знарядь» (м. Житомир, ЖНАУ, 2017 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції

«Технічне забезпечення інноваційних технологій в сільському господарстві» (м. Мінськ, БДАУ, 2017 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 55 наукових праць, у тому числі: 1 монографія, 32 статті у фахових виданнях переліку МОН України; 5 статей у закордонних періодичних виданнях; 10 матеріалів і тез доповідей на науково-технічних конференціях; 7 патентів на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації становить 456 сторінок, анотація – 23 сторінки. Дисертація містить 135 ілюстрацій, 37 таблиць. Список використаних джерел із 544 найменувань займає 67 сторінок. Додатки містять 56 сторінок. Обсяг основної частини дисертації становить 300 сторінок, або 12,5 друкованих аркушів.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ТА МЕТОДІВ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ

1.1 Обґрунтування підходу до аналізу проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок

У загальному комплексі агротехнічних заходів важливе місце належить посіву. Цю технологічну операцію слід вважати основною і визначальною як з агрономічної, так і з техніко-економічної сторін [25, 131].

Ефективність функціонування, зокрема зернових сівалок – головна вимога, якій повинна задовольняти будь-яка система. Оскільки сільськогосподарські машини працюють в умовах, обумовлених взаємодією процесів різного характеру, то їх дослідження і розробка потребують комплексного вирішення технічних, технологічних, біологічних і соціальних питань. Це обумовлює необхідність розгляду різних факторів і елементів як однієї системи. Тому основним методологічним підходом в даній роботі є системний підхід, що дозволить розробити і прийняти найбільш раціональні рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування зернових сівалок. При цьому треба висунути відповідну концепцію розвитку системи, вибрати основні параметри системи та обґрунтувати напрями розвитку системи, згідно робіт [22, 135, 216, 263].

Виходячи із зазначеного, можна зробити висновок, що проблема підвищення ефективності роботи зернових сівалок є слабо структурованою, або змішаною, тобто містить в собі як кількісні, так і якісні оцінки. Для визначення та рішення таких проблем потрібні системні методи, зокрема системний аналіз, націлений на те, щоб слабо структуровану проблему перетворити на більш структуровану, або кількісно сформульовану, для рішення якої можна застосовувати як традиційні, так і нові наукові методи [259].

Одними із принципів системного підходу і аналізу є принципи оптимальності та системності. Відповідно до принципу оптимальності, у розвитку технічних систем мають справу з відбором. В ході технічного освоєння наукових

досягнень важливо обирати такі рішення, які є кращими і оптимальними за комплексом показників для заданих умов [263].

Тому оцінка ефективності роботи проводиться за показниками ефективності – ознаками, на підставі яких здійснюється порівняльна оцінка можливих рішень, або за критеріями ефективності – кількісними моделями якісних цілей, згідно робіт [239, 263]. Вибір і формулювання показників та критеріїв ефективності – головне питання порівняльної оцінки рішень в дослідженнях і розробці машин. При цьому необхідне зіставлення різнорідних критеріїв і величин, а також розробка універсальних показників для оцінки [84, 238, 250, 263].

В свою чергу, принцип системності передбачає підхід до нової техніки як до комплексного об'єкту, представленого сукупністю взаємопов'язаних функцій, реалізація яких забезпечує досягнення потрібного ефекту, в мінімальні терміни та при мінімальних витратах, з мінімальним збитком навколишньому середовищу.

Проблема оцінки ефективності вимагає цілісного охоплення системи. Вона може бути як формалізованою (математичною) так і евристичною (експертною) [257]. Експертна оцінка враховує думку і роботи дослідників у цій галузі.

В ході аналізу теоретичних і практичних досліджень, які виконали відомі вчені в галузі посіву та посівної техніки – В. В. Амосов, Л. В. Аніскевич, В. С. Астахов, В. В. Аулін, В. С. Басін, Н. М. Беспамятнова, В. О. Бєлодєдов, Є. А. Біляєв, А. І. Бойко, А. А. Будагов, Г. М. Бузенков, Д. Г. Вальянов, П. М. Василенко, Д. Г. Войтюк, Б. М. Гевко, В. П. Горячкін, В. О. Желіговський, Б.І. Журавльов, П.М. Заіка, С. В. Кардашевський, О. Н. Карпенко, М. Г. Кінкер, В. Я. Коваль, В. Ю. Комарістов, Б.Ф. Кузнецов, М. М. Летошнєв, Г. Є. Листопад, П. Я. Лобачевський, Н. І. Любушко, С.А. Ма, В. І. Пастухов, О. Й. Петрусов, Л. В. Погорілий, М. О. Свірень, А. Н. Семенов, П. В. Сисолін, В. С. Сухін, С. С. Тищенко, М. С. Хоменко, М. І. Черновол, В. П. Чічкін, М. С. Шведик, С. І. Шмат, Н. Kam, P. S. Lammers, O. Schmittmann, H. Weiste та інші – встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається наступними основними чинниками: якістю посіву, або формуванням вихідного потоку насіння та його розподілу вздовж ряду [17, 25, 31-33, 34, 60, 119, 120, 163, 254, 272, 273], продуктивністю МТА [25, 21, 106-108, 116], масово-енергетичними показниками [18, 21, 25, 93, 36, 157, 266], технічним

рівнем висівної системи і конструктивно-компонувальною схемою сівалки [1, 7, 13, 15, 16, 24, 34, 49, 55, 64, 65, 75, 77, 102, 119, 149, 150, 178, 181, 191, 228, 253, 268, 270, 289], а також рівнем автоматизації, інформатизації та управління процесом висіву [4, 9-12, 26, 50, 51, 23, 86, 103, 162, 187, 255], рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Структурна схема основних чинників, що визначають ефективність роботи зернових сівалок (*джерело: розроблено автором*)

При системному підході та аналізі в процесі формалізації функціонування системи визначається кінцеве число суттєвих властивостей, які визначають її специфіку. Тому структурна схема (рис. 1.1), яка характеризує показники ефективності роботи зернових сівалок E_{pc} на основі експертної оцінки, може виступати у вигляді комплексу показників, згідно робіт [189, 238, 263, 241, 247, 226]:

$$E_{pc} = f(x_1, x_2, x_3, x_i, ..., x_n), \tag{1.1}$$

де x_i – критерії і показники ефективності.

Аналіз чинників на рис. 1.1 дає можливість визначити кількісний характер критеріїв, якими визначається комплекс показників ефективності (1.1).

1.2 Аналіз показників якості висівних систем зернових сівалок та агробіологічна оцінка їх роботи

Якість операції сівби є основним чинником, що визначає рівень технологій виробництва продукції рослинництва. Саме від якості сівби залежить динаміка схожості рослин, так і активність їх зростання [25, 28].

Проте в даний час сівба багатьох культур виконується за застарілими технологіями недосконалими посівними машинами. Монопольне становище займає висів зернових культур рядковими сівалками типу С3-3,6, хоча відомо, що ці посівні машини є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає багатьом сучасним вимогам, допускає до 10...30% перевитрати насіння та його пошкодження [100, 136, 149, 228]. До того ж зернотукові сівалки типу С3-3,6 значно застаріли.

Одним з перспективних типів машин для посіву зернових культур на сьогодні є сівалки з ПЦВС. Поряд з високою продуктивністю посівних агрегатів з машинами цього типу і значним потенціалом їх подальшого технічного удосконалення, існує і ряд недоліків. З найбільш істотних є підвищена нерівномірність розподілу насіння по сошникам (4...9% при вертикальному положенні трубопроводу і 12...18% – при його нахилі до 15^0), а також підвищений ступінь пошкодження насіння внаслідок неодноразових зіткнень при русі по трубопроводу з штучними нерівностями і лобовою зустрічі з поверхнею ділильної головки, в умовах швидкісного режиму руху насіння по пневмотрактах, збільшеного у порівнянні з механічними сівалками з 1,6 до 25 м/с, а в деяких випадках і до 70 м/с. Аналіз наявних технічних і технологічних рішень, спрямованих на поліпшення якісних показників висіву, показує, що ряд з них дозволяє в деякій мірі підвищити поперечну рівномірність висіву, однак при цьому можуть виникати негативні моменти, пов'язані, наприклад, з травмуванням насіння, надмірним ускладненням конструкції розподільників, підвищенням опору висівної системи [68, 225, 260, 266]

Таким чином, встановлено, що недосконаліть посівних машин призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур на 15...30% [15, 244].

Вітчизняна посівна техніка потребує вдосконалення і принципово нових рішень. Так, згідно роботи [63], в Україні висівається в середньому в три рази більше насіння на гектар у порівнянні з країнами з більш високою культурою землеробства. Підвищені норми висіву є платою за низьку якість насіння, незадовільну підготовку ґрунту і технічну недосконаліть машин. Тільки з цих причин щорічно додатково витрачається майже 1,5 млн. тонн насіння.

У той же час в роботах [32, 33, 119] вказуються біологічні особливості зернових, що визначають агротехнічні вимоги до їх посіву. Практика показує, що для зернових колосових культур можна не досягати занадто рівномірного висіву насіння, тому що біологічно вони після проростання кущаться, причому рідкі посіви – більшою мірою, густі – у меншій. Тому на відносно нерівномірних посівах після фази кущіння густота стояння рослин нівелюється. Однак це не означає, що не слід суворо дотримуватися норму висіву, оскільки загущення посівів все ж призводить до зниження врожайності зернових культур [109].

Згідно робіт [33,119], існуючі допуски на рівномірність висіву були введені без відповідного агротехнічного обґрунтування і перевірки можливості отримання на серійних зразках машин. Виявилося, що забезпечити на практиці необхідні показники навіть при значному ускладненні конструкцій сівалок досить важко. При цьому встановлено, що для агротехнічних вимог цілком прийнятний показник нерівномірності висіву між апаратами в межах 6…12%. Широко поширені висівні апарати і системи вивчені порівняно добре і, головне, встановлено, що всі вони дають приблизно однакову рівномірність розподілу насіння [119].

Разом з тим при дослідженні і розробці нових висівних апаратів і систем зернових сівалок необхідно забезпечити відповідність агротехнічним вимогам значень показників якості висіву – коефіцієнтів середньої нерівномірності H,% між окремими апаратами та нестійкості $H_в$,% висіву окремими апаратами, а також коефіцієнта варіації поздовжнього розподілу насіння V,%, які є складовими комплексу показників (1.1).

При цьому необхідно покращувати значення даних показників, зокрема за рахунок усунення пульсації потоків насіння, обумовлених нерівномірністю їх дозування і переміщення в насіннєпроводах [25, 68].

1.3 Продуктивність посівних агрегатів в проблемі підвищення ефективності їх функціонування

Прийнято вважати, що найбільш точним і об'єктивним показником, що характеризує рівень розвитку СГТ, є його годинна продуктивність [145, 262].

Згідно роботи [97], тенденції розвитку СГТ показують, що в принциповій основі більшість машин протягом 15...20 років практично не змінюються. З 1985 року фахівці не прогнозували істотного приросту робочих швидкостей МТА, в тому числі і посівних, незважаючи на те, що зростання робочих швидкостей дає можливість використовувати активний запас потужності, а не пасивний резерв техніки, підвищувати продуктивність і зменшити експлуатаційні витрати.

Вважалося, що резерви збільшення продуктивності МТА традиційних типів тільки в результаті підвищення робочих швидкостей практично вичерпані, оскільки за межами визначених значень швидкостей порушується якість виконання технологічних процесів [74, 145, 197]. В результаті мало місце випереджаюче зростання енергонасиченості тракторів, в результаті чого знижувалась ефективність використання їх потужності через відставання ефективних значень робочих швидкостей сільськогосподарських машин. Це необхідно було компенсувати шляхом завантаження трактора по тяговому зусиллю [69, 113, 114, 145]. Тому найбільш вірогідним резервом підвищення продуктивності на майбутні 20...25 років приймалося збільшення ширини захвату [62, 236, 246]. У зв'язку із збільшенням енергонасиченості тракторів все більше поширення отримували широкозахватні сівалки, що виконуються як у вигляді секційних агрегатів, так і окремих машин [106, 108, 234, 249].

В даний час можливі аналіз і оцінка наслідків застосування протягом довгого часу такого екстенсивного способу підвищення продуктивності як збільшення ширини захвату посівних машин. Встановлено, що довільне збільшення розмірів зернових сівалок призводить до значного збільшення їх маси, зниження паливної економічності, трудомісткості обслуговування, нестійкого режиму роботи і лише ненабагато підвищує продуктивність праці [14, 67, 195, 235]. Із збільшенням ширини захвату також погіршується копіювання нерівностей ґрунту сошниками посівних машин [80]

Відомо, що ефективність широкозахватної машини визначається зростанням продуктивності, яка повинна випереджати збільшення її маси [21, 67, 105]. Наприклад, продуктивність 12-рядної сівалки на 21,9...36,6% вище, ніж продуктивність 8-рядної сівалки, однак таке зростання продуктивності

забезпечується непропорційним збільшенням маси машини. Підвищення продуктивності сівалки тільки за рахунок збільшення ширини захвату не може забезпечити ефективність машини [67, 171]. Для цього необхідно пропорційно знижувати енерговитрати і матеріаломісткість [18, 140]. Тому для забезпечення ефективності, зростання продуктивності машини повинно випереджати збільшення її маси, а, отже, і вартості машини. Маса і ціна сівалки пов'язані з шириною захвату параболічною залежністю, в той час як продуктивність – лінійною [21].

Наближається до граничних значень ширина захвату машин внаслідок збільшення різниці між показниками їх чистої і експлуатаційної продуктивності і одночасного переущільнення ґрунту через збільшення маси машин, підвищеного ступеня буксування тракторів, складності стикування суміжних проходів агрегату, труднощів при копіювання рельєфу ґрунту. Деякі резерви підвищення продуктивності і поліпшення якості роботи традиційної сільгосптехніки можуть бути реалізовані за допомогою автоматизації, проте цей шлях при збереженні традиційних технологій і технічних засобів вимагає розробки складних і дорогих автоматичних систем, що знижує рентабельність їх застосування.

Не можна забувати і ті важливі обставини, що техніка АПК працює 20...30 днів в році, а решту часу простоює на консервації. При підвищенні продуктивності машин має місце парадоксальне явище: чим продуктивніше машина, тим більше «заморожується» праці і коштів. Відомо, що відрахування від балансової вартості машин збільшують собівартість продукції. Це означає, що у розвитку технічних засобів переважає екстенсивний фактор. В результаті виникає несприятлива тенденція зниження віддачі виробничих фондів [105].

Оскільки збільшена ширина захвату вимагає підвищення потужності трактора, встановлено, що з її збільшенням понад певної межі непропорційно зростають виробничі витрати, перевищуючи в 1,5...2 рази витрати для звичайних тракторів. Однак підвищення робочих швидкостей також вимагає створення енергонасичених тракторів, у яких максимум тягового ККД зміщений у бік високих швидкостей [145]. Звідси випливає необхідність зниження енерговитрат у робочому процесі машин і знарядь при роботі з звичайними тракторами. Тому

потрібні рішення, що забезпечують додаткове зростання продуктивності і зниження вартості робіт, пошуки принципово нових конструкцій робочих органів для усунення або мінімізації наявних негативних тенденцій [21, 67, 267, 283].

В даний час для нових зернових сівалок, що випускаються європейськими виробниками, характерним є збільшення продуктивності за рахунок підвищення робочої швидкості руху (при збереженні високої якості роботи), у той час як американські конструктори, удосконалюючи широкозахватні посівні комплекси, все більше уваги приділяють підвищенню якості загортання насіння [94, 283].

Як відомо, середньостатистична швидкість посіву в Україні становить близько 7...8 км/ч. Однак деякі сівалки зарубіжних виробників, таких як Amazone або John Deere, можуть сіяти зі швидкістю 14 км/год і швидше, не втрачаючи якості посіву. Це дозволяє скоротити агротехнічні строки виконання польових робіт, зменшити втрати вологи шляхом скорочення міжопераційних проміжків часу, економити ПММ і менш ущільнювати ґрунт [66, 232].

Вдосконалення висівних апаратів і сошникової групи дозволяє підвищити робочі швидкості зернових сівалок до 15 км/год, Однак стан полів у період посіву не тільки обмежує можливість підвищення швидкостей, але і не дозволяє стабільно використовувати можливості створених посівних машин. Тому зберігається стійка тенденція підвищення продуктивності за рахунок збільшення ширини захвату [102].

Таким чином, поряд з аналізом питань, пов'язаних з продуктивністю зернових сівалок, необхідне кількісне дослідження значень показників динаміки продуктивності W, ширини захвату B і швидкості руху v, які складають комплекс показників (1.1).

З іншої сторони, необхідно відзначити, що показник максимальної продуктивності зайняв домінуючу роль в оцінці ефективності техніки. Між тим одностороння орієнтація на досягнення максимальної продуктивності призводить до недооцінки цілого ряду інших показників. Важливим є не тільки одержання максимального обсягу продукції, але і підвищення його якості, забезпечення безпеки відносно забруднення і руйнування природного середовища, зниження витрат енергії [124]. Тому при дослідженні ефективності техніки і технологій

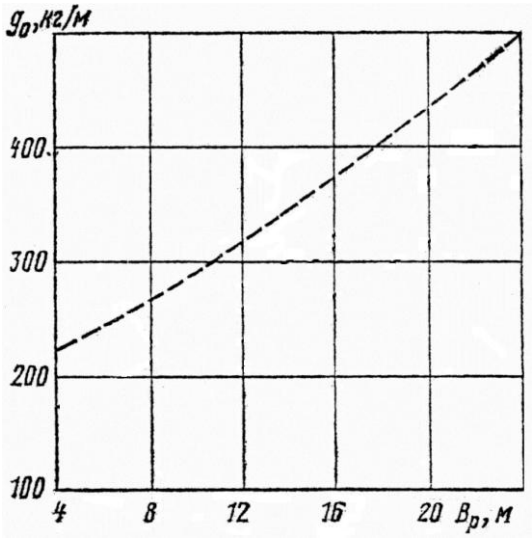
необхідно враховувати зазначені та інші фактори [21]. Це дозволить всебічно оцінити ефективність та перспективність технічних рішень.

1.4 Аналіз показників матеріаломісткості конструкцій та енерговикористання в робочому процесі зернових сівалок

1.4.1 Аналіз показників матеріалоємності зернових сівалок

Порівняння технічного рівня вітчизняних і зарубіжних зразків СГТ показує, що у вітчизняних машин, які не поступаються зарубіжним аналогам за питомими ваговими показниками, маса, як правило, більше на 10...20%. Разом з тим на виробництво запасних частин у нас витрачається металу в 1,5...2 рази більше, ніж за кордоном, металоємність нашої техніки виявляється ще вищою [132].

Згідно роботам [62, 264], збільшення ширини захвату супроводжується непропорційним зростанням питомої матеріалоємності технологічної частини посівних МТА, незалежно від її типу (рис. 1.2).



g_0 – питома матеріаломісткість МТА; B_p – робоча ширина захвату агрегату

Рисунок 1.2 – Вплив ширини захвату на питому матеріаломісткість широкозахватних посівних агрегатів: (*джерело: розроблено в [62], с. 2*)

В даний час матеріаломісткість зернових сівалок є значною і у багатьох випадках перевищує рекомендовані значення, що дорівнюють 250...300 кг/м [157,

231]. Збільшення матеріаломісткості із зростанням ширини захвату технологічної частини агрегату призводить до підвищення питомого тягового опору. Найбільше це відчутно для причіпної широкозахватної технологічної частини, оскільки вся маса її несучої рами транспортується опорними колесами [62]. В той же час дослідники [267] визнають, що зростання маси сівалок є об'єктивним явищем.

Як зазначалося раніше, мають місце і негативні явища, коли при нарощуванні виробництва, продуктивності і потужності СГТ відбувається «заморожування» металу і інших ресурсів, що знижує фондовіддачу виробничого потенціалу [188]. Це тягне за собою високу вартість (ціна 1 м захвату зарубіжного посівного агрегату становить 10...11 тис. євро, а використовується він 15…20 днів на рік [255]), недостатню надійність машин, трудомісткість налагодження та обслуговування, а також стримує створення і впровадження у виробництво нових видів та конструкцій машин. Внаслідок цього, особливістю технічної політики в сільському господарстві повинна бути не тільки модернізація та вдосконалення вже існуючих сівалок, але і створення посівних машин нового покоління, на основі нових принципів дії та конструктивних рішень на базі оригінальних робочих органів [142, 237, 267].

Відповідно роботі [145], слід зазначити, що для оцінки матеріалоємності техніки часто використовують показник експлуатаційної матеріаломісткості в кг/(га/год). У цьому випадку на величину матеріаломісткості впливає не тільки ширина захвату, але і швидкість руху. Це дозволяє, збільшуючи робочі швидкості (п. 1.3) отримувати систематичне умовне зниження матеріаломісткості машин.

Таким чином, наступними чинниками ефективності, що кількісно входять до комплексу показників (1.1), є матеріалоємність $m_{пит}$ і конструктивна маса $m_к$ машин. Це найважливіші комплексні показники технічного рівня, що характеризують прогресивність реалізованих конструкторських рішень, технології виробництва і застосовуваних матеріалів. Крім того, у зв'язку із зростанням значень $m_{пит}$ і $m_к$ необхідно дослідити динаміку значень питомого тягового опору $p_{пит}$, який також виступає показником ефективності у виразі (1.1).

1.4.2 Енергоефективність і енерговикористання в технічних засобах механізації сільськогосподарського виробництва

Застосування сучасних технологій передбачає не тільки підвищення врожайності та поліпшення якості продукції, але й зменшення затрат енергії за рахунок точного виробництва і зниження витрат праці та коштів.

Аналіз витрат праці і коштів на вирощування і збирання зернових культур показав, що 6...8% з них припадає на роботи, пов'язані з сівбою, яка є одним з ресурсномістких технологічних процесів, тому будь-яке зниження витрат на виконання даної технологічної операції має значення. Від строків проведення посіву і його якості багато в чому залежить майбутній урожай. Тому важливо не тільки посіяти зернові культури своєчасно та якісно, але і знизити витрати, в тому числі й енергетичні [170, 172, 211].

Проте в даний час у розвитку землеробства в цьому напрямі виникли принципові труднощі. До них, в першу чергу, відноситься прискорене зростання витрат енергії на одиницю продукції. Тільки за останнє сторіччя коефіцієнт ефективності вкладення одиниці техногенної енергії в ґрунт зменшився з 4 до 1,5 [127]. Підвищення врожайності основних зернових культур в 2,5...3,0 рази супроводжувалося зростанням питомих витрат антропогенної енергії в 10...15 разів і більше. Якщо і далі підвищувати продуктивність традиційними методами, то землеробство перетвориться в дуже енергоємну галузь [176, 177].

Крім того, сучасний стан вітчизняного сільського господарства характеризується нераціональним набором використовуваних технічних, технологічних і енергетичних засобів при малому коефіцієнті корисного використання, а приріст продукції на 1% тягне за собою збільшення витрат енергоресурсів на 2…3% [169].

Згідно роботі [93], енергетичний аналіз розвитку систем механізації дозволив виявити ряд закономірностей. Насамперед, це зменшення приросту виходу продукції в енергетичних одиницях $E_{вих}$ щодо вкладеної енергії $E_{вх}$ при повній механізації та вдосконалення технологій. При цьому, якщо витрати живої праці $З_{ж}$ на одиницю отриманої продукції знижуються, то витрати праці,

уречевленої в машинах і матеріалах $З_у$, зростають. Зростання втрат енергії $E_{вт}=E_{вх}-E_{вих}$ зумовлене неповним знанням механізмів явищ, неоптимальністю і невпорядкованістю процесів, відсутністю оперативного управління процесами і системного підходу при розробці технічних засобів механізації СГВ.

Регресуюча закономірність характерна і для приросту виробництва продукції на одиницю вкладеної енергії. Це пояснюється зростанням енерго- і машиноємності виробництва, зниженням ККД систем "виробництво - техніка - технологія", а також відставанням росту продуктивності посівних площ. Надбавка кожного відсотка продукції досягається збільшенням енерговитрат на 2,5...3,6%, а зростання врожайності в 2...3 рази супроводжується зростанням витрат енергії не поновлюваних ресурсів в 10...15 разів на одиницю продукції. Як показують розрахунки, середня енергоємність технологічних процесів, які виконуються вітчизняними сільськогосподарськими машинами, в 1,5...2,5 рази більше, ніж у їхніх закордонних аналогів [2, 18, 36, 110, 159-161, 192].

Вкрай актуальним є підвищення показника енергетичної ефективності сільськогосподарської продукції, який дорівнює відношенню вмісту енергії в сільськогосподарській продукції до величини енергії, витраченої на її одержання. Особливо високими є витрати енергії на техніку, що стосуються тракторів та сільгоспмашин, які орієнтовно становлять 20% загальних енергетичних витрат на одержання продукції [220]. Зокрема, в даний час енергоємність роботи зернових сівалок перевищує оптимальну і рівну 10...15 кВт/м [157]. Очевидно, це зумовлене екстенсивним шляхом виробництва та експлуатації технічних засобів.

З'ясовано, що основними напрямками зниження питомих матеріало- і енерговитрат на виробництво продукції та підвищення продуктивності праці є: вдосконалення конструкцій робочих органів і машин в цілому; застосування нетрадиційних методів та підходів при розробці машин; створення багатоопераційних універсальних комбінованих блочно-модульних агрегатів; перехід до розробки переважно напівначіпних агрегатів модульного типу, що агрегатуються з універсальними енергетичними засобами; істотне підвищення експлуатаційної ефективності, технологічності та надійності комплексів машин і знарядь, що забезпечує реалізацію перспективних технологій [93, 267, 275].

Таким чином, у виразі (1.1) енергоефективність та енерговикористання в зернових сівалках визначаються такими показниками як питомі енерговитрати на роботу сівалки E_c, та на функціонування її висівної системи $E_{вс}$, а також коефіцієнтом корисної дії висівної системи $\eta_{вс}$.

1.4.3 Аналіз існуючих критеріїв ефективності конструкцій та робочого процесу сільськогосподарських машин

Стосовно до оцінки ефективності СГТ пропонується значна кількість критеріїв, більшість з яких економічні. Серед них найбільш характерними є: мінімум часу на виконання робіт; мінімум капітальних витрат; мінімум прямих експлуатаційних витрат і балансової вартості машин; мінімум витрат живої праці, максимальна ефективність праці.

Найбільше поширення при оцінці ефективності техніки отримав і нині діє, згідно із затвердженими типовими методиками, показник мінімуму приведених витрат. Будучи вартісним критерієм, він комплексно враховує експлуатаційні витрати на виробництво і капіталовкладення, з урахуванням їх нормативної ефективності [189, 238, 262, 263, 268].

$$П_в = С + k_н \cdot К_{пит}, \qquad (1.2)$$

де $С$ – прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи, грн/га;

$k_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$К_{пит}$ – питомі капіталовкладення, грн/га.

Але згідно робіт [135, 243], критерій мінімуму приведених витрат суперечить технічній політиці в сільськогосподарському виробництві і не може відповідати вимогам оптимізації сільськогосподарської техніки.

Зазначимо, що економічні критерії у ряді випадків носять суперечливий характер, а при їх використанні оцінка зазвичай здійснюється в грошовому еквіваленті. В сучасних умовах цього недостатньо через те, що економічні критерії піддані необґрунтованим коливанням і визначаються політикою ціноутворення.

Нерідко при оцінці ефективності застосовують не один загальний критерій, а цілу систему натуральних і вартісних показників [20, 27, 84, 104, 112, 189, 193].

В даний час набуває значимість розробка критеріїв, що дають однозначну відповідь – якому напрямку відповідають модернізовані і новостворювані машини: екстенсивному або інтенсивному [105].

Дослідження АПК за напрямом енергоспоживання дозволило виявити, що більше половини палива, споживаного в цій галузі, використовують з низькою ефективністю [85]. Тому у СГВ енергоємність повинна бути основним критерієм технологічності та конструктивності машин, а в основі вирішення питань, пов'язаних з розробкою та обґрунтуванням технологій і застосуванням машин повинен бути принцип оптимальної енергоємності технологічних процесів і засобів механізації, сутність якого полягає у мінімізації витрат енергії на отримання продукції [156].

Аналіз результатів енергетичних досліджень машинних агрегатів показує, що поки немає узагальнюючих теоретичних розробок щодо методів зниження енергоємності машин і механізмів, недостатньо обґрунтовані і критерії оцінки енергетичної ефективності технологічних процесів. Основним недоліком використовуваних критеріїв є те, що вони визначають лише конструктивну досконалість машин [6], або, як було зазначено вище, їх продуктивність.

Крім того, для сільськогосподарських машин досі не виявлено уніфіковані критерії, залежності і математичні моделі, що визначають єдині шляхи і методи зниження енергоємності конструкцій і робочого процесу [5]. Існуючі методики оцінки технічного рівня машин недосконалі і не відповідають повною мірою вимогам практики, а більш прийнятні для різних оціночних комісій, ніж для практичної роботи конструкторів. Для оцінки технічного рівня і ефективності застосування машин пропонуються досить складні підходи, методи та критерії - структурні моделі та циклограми технічного рівня [214], узагальнені показники комплексної оцінки на основі функції Харрінгтона [126], критерії цінності машини по сукупності показників [193].

Стосовно принципу оптимальної енергоємності технологічних процесів і засобів механізації запропоновано кілька критеріїв ефективності конструкцій і застосування СГМ, які є суто фізико-технічними, або техніко-експлуатаційними.

В роботі [156] розглядається поняття технічного рівня засобів механізації, як відношення коефіцієнта корисної дії машини до її енергоємності:

$$k_{тр} = \frac{\eta_м}{E_м}, \tag{1.3}$$

де η – ККД машини;

$E_м$ – енергоємність машини, кВт/м.

Таким чином, чим вище коефіцієнт корисної дії і чим менше енергоємність, тим вищий технічний рівень засобів механізації.

В роботах [78, 240] в якості критерію оптимальності пропонується використання мінімуму питомих енерговитрат при робочому ході агрегату:

$$E \to min. \tag{1.4}$$

Аналізуючи одиниці виміру даного критерію - Дж/м^2, встановлено, що він за змістом відповідає такій фізичній категорії, як жорсткість k, кг/с^2, а у технічному сенсі відносно, зокрема, посівної машини, це є тяговий опір, Н/м^2. Тому даний критерій можна трактувати як прагнення до зниження тягового опору машини.

Аналогічний критерій пропонується в роботах [224, 262, 263], де розглядається відносна питома енергоємність робіт, виконуваних МТА:

$$E = \frac{N}{W}, \tag{1.5}$$

де N – ефективна потужність двигуна енергетичного засобу, кВт;

W – продуктивність машинного агрегату, га/год.

Подавши одиниці виміру критерію в системі СІ, отримаємо таку ж фізичну категорію, тобто жорсткість та її технічний еквівалент – тяговий опір машини.

В роботі [3] розглядається критерій, ідентичний двом представленим вище, і представлений у вигляді цільової функції:

$$\frac{\eta_т}{p_{пит}} \to max, \tag{1.6}$$

де $\eta_т$ – тяговий ККД енергетичного засобу;

$p_{пит}$ – питомий опір сільськогосподарської машини, кН/м.

Підставивши в системі СІ одиниці виміру критерію цільової функції, отримаємо величину, зворотну жорсткості, яка має одиницю виміру $(кг/с^2)^{-1}$, або величину, яка зворотна тяговому опору.

Інакше кажучи, виявляється прагнення до підвищення умовної величини, яка зворотна тяговому опору, що теж є прагненням до зниження енерговитрат.

Умовою ефективності, згідно [21, 262, 263], може бути прийнята наступна:

$$\frac{\Delta m_c}{\Delta W_c} \to min, \tag{1.7}$$

де Δm_c – приріст маси сівалки, кг;

ΔW_c – приріст продуктивності сівалки, га/год.

Зазначене свідчить, що всі економічні та енергетичні критерії є різновидами загального співвідношення між витратами і ефективністю, як це показано, зокрема, в роботах [20, 135], що є загальною підставою для пошуку і встановлення нових критеріїв ефективності.

При цьому найбільш прийнятною є розробка універсальних, узагальнених та комплексних критеріїв, що показують кількісну оцінку та ефективність прийнятих рішень [84, 245, 238]. В якості таких критеріїв найбільш доречним є прийняття показників використання ресурсів, згідно [245, 238].

В роботах [262, 263] запропоновано показник, що розглядається як найбільш загальна комплексна оцінка агрегату:

$$П_{NG} = \frac{N_{пит}}{W_{г.пит}}, \tag{1.8}$$

де $N_{пит}$ – енергоємність процесу, або співвідношення потужності двигуна трактору N, кВт, до годинної продуктивності $W_{год}$, га/год, або (кВт×год)/га;

$W_{г.пит}$ – питома годинна продуктивність, або співвідношення годинної продуктивності $W_{год}$, га/год, до маси агрегату G, кг, або га/кг×год.

Одиницею виміру узагальненого критерію (1.8) в системі СІ є $кг^2/(с×м^2)$, що не відповідає жодній фізичній категорії.

У виразі (1.1) ефективність роботи зернових сівалок доцільно розглядати на основі одного з відомих критеріїв (1.2) – (1.8) або запропонувати комплексний універсальний критерій ефективності k_e, який виходить з динаміки показників роботи зернових сівалок, що мають розглядаються в теоретичних і експериментальних дослідженнях даної роботи і який відповідає певній фізичній категорії та може застосовуватися для інших видів сільськогосподарської техніки.

1.5 Технічний рівень і перспективні напрями розвитку і вдосконалення посівних машин, висівних апаратів і систем на основі фізичних процесів і фізико-технічних методів

Розглянемо існуючі тенденції розвитку конструкцій висівних апаратів і систем зернових сівалок на основі принципів і закономірностей еволюції, розвитку та застосування нових технічних засобів для здійснення процесу висіву та їх взаємозв'язку з результатами досліджень в галузях природничих і технічних наук.

1.5.1 Сучасні концепції розвитку машин для сівби зернових культур

У науково-дослідних і конструкторських організаціях ведуться роботи щодо створення сівалок, що відповідають сучасним вимогам. Роботи проводяться як у напрямі вдосконалення існуючої техніки, так і в напрямку пошуку нових технічних рішень [64, 65, 150, 181, 281, 289]. Процес вдосконалення посівних машин закладений у відповідних концепціях розвитку.

Що стосується сучасних концепцій розвитку посівних машин, то інтерес викликає робота [7]. У ній запропоновано спосіб класифікації посівних машин на основі теоретичного розрахунку максимально допустимої технологічної швидкості подачі насіння. При цьому представлені конструктивні ознаки поділу посівних машин на покоління, кожне з яких володіє граничними технічними можливостями і обмеженнями, пов'язаними з загальними закономірностями розвитку систем.

Основний принцип, що підкреслює класифікацію машин першого покоління, це використання в якості посівного матеріалу безпосередньо насіння культурних рослин. Ці машини також подають в потік висіяного насіння стартову

дозу мінеральних добрив. Перше покоління посівних машин являє собою систему, в якій посівний матеріал після висівного апарата подається в сошник під дією гравітації. Їх застосовують при трьох рівнях інтенсифікації виробництва: екстенсивному, нормальному та інтенсивному, використовуючи в якості характеристики посівного матеріалу найнижчу класифікаційну одиницю культурних рослин – сорт.

Розробка першого покоління посівних машин може бути віднесена до третього технологічного укладу і базується на законах механіки, використовуваних для розрахунку елементів конструкції; опису фізичних властивостей ґрунту; опису характеру руху насіння і добрив через дільник по трубопроводам і далі через сошник в ґрунт; визначення траєкторії руху елементів машинно-тракторного агрегату по складному рельєфу поля.

При розгляді траєкторії переміщення насіння по трубопроводах до сошників відносно ґрунту, воно рухаються з певною швидкістю по напрямку до ґрунту під дією сили тяжіння і при цьому переміщуються разом з МТА із деякою робочою швидкістю. Суму векторів швидкостей, прикладених до насіння і гранул добрив, виражають єдиним вектором швидкості, що визначає характер їх руху відносно поверхні ґрунту. Перевищення робочої швидкості агрегату над швидкістю переміщення насіння трубопроводами дає результуючу швидкість, достатню для рикошету насіння від поверхні насіннєвого ложа, що різко збільшує розкид по глибині загортання. Установка відбиваючих пластин в тіло сошників для розсіювання насіння по площі значно знижує швидкість переміщення насіння під дією сили тяжіння і призводить до розкиду значень глибини загортання. Таким чином, продуктивність агрегату залежить від швидкості його руху по полю, а її збільшення у машин першого покоління істотно знижує виконання агротехнічних вимог по рівномірному загортанню насіння на встановлену глибину (п. 1.3).

Друге покоління посівних машин являє собою пристрій, що здійснює подачу посівного матеріалу в сошник під впливом двох сил — тяжіння і повітряного потоку. Повітряний потік створюють для зменшення часу транспортування насіння до сошника, що дозволяє збільшувати швидкість руху сівалки а, отже, і продуктивність. Такі машини застосовують в технологіях з ґрунтозахисної

обробкою, а в якості посівного матеріалу використовують дражоване або капсульоване насіння гібридів. Наявність захисної оболонки дозволяє переміщати насіння по пневматичній системі без пошкодження і травмування.

При вирощування гібридів необхідне щорічне придбання насіння, вартість якого вище сортового насіння супереліти. Це обумовлює змінити не тільки ставлення до технологій, але і змушує забезпечувати більш точне розміщення посівного матеріалу по поверхні поля і глибині загортання, що ініціює дослідження і розробку машин для точного посіву зернових культур, оскільки відомо, що існуючі висівні апарати незалежно від форми висівного елемента дають приблизно однакову рівномірність розподілу насіння вздовж ряду [119]. Тривалість раціонального періоду сівби не перевищує 5...7 днів, що накладає більш жорсткі вимоги до надійності сівалок [25]. Використання гібридів пов'язано з розвитком технологій і машин другого покоління, які принципово відрізняються від технологій і машин першого покоління. Перехід на такі технології почався після 1973 року, тобто перше покоління технологій і посівних машин прогресувало до зазначеного періоду часу.

Розробка другого покоління посівних машин може бути умовно віднесена до четвертого технологічного укладу і базується на застосуванні законів механіки, електротехніки і гідравліки, використовуваних для розрахунку елементів конструкції. Внаслідок підвищених швидкостей руху посівних агрегатів потрібне встановлення пристроїв для недопущення перекриття або просівів. Як правило, це системи автоматичного управління рухом по заданому алгоритму. Необхідно також більш складне управління дозуючими пристроями, особливо в перехідні періоди. Диференційований висів насіння здійснюється гідромоторами, частота обертання яких регулюється автоматично електронними аналоговими пристроями, що працюють на тракторах, де реалізовані системи нерозривної передачі потужності від двигуна до трансмісії.

Відмітною особливістю техніки другого покоління є наявність вертикальних колон, у верхній частині яких потік насіння і мінеральних добрив розподіляється по вторинним трубопроводами ділильною головкою. Управління технологічним процесом здійснюється за допомогою комп'ютера. Він стежить за

електромагнітною муфтою приводу висівних механізмів, подає сигнали про рівні насіння в ємностях, інформує оператора про показники роботи джерела повітряного тиску, двигуна трактора і показники продуктивності.

Третє покоління посівної техніки являє собою пристрої, що подають насіння в сошник під дією сил повітряного потоку. Швидкість останнього збільшують по відношенню до тієї, яка реалізована на машинах другого покоління. В результаті з'являється можливість пропорційно збільшити швидкість руху агрегату з метою підвищення його продуктивності, що пояснює тенденцію зростання швидкості руху посівних агрегатів в даний час (п. 1.3). Але в цьому випадку використовують насіння генетично модифікованих рослин, тобто з захисною оболонкою. Для дражування використовують якісне насіння з високою енергією росту і схожість більше 90%.

Складність управління машинами з пневматичним централізованим висівом зумовлює багатофункціональність системи контролю робочого процесу [227, 265]. Тому третє покоління посівних машин відрізняється від другого більш широким застосуванням інформаційних технологій і відповідає п'ятому технологічному укладу. Принциповою відмінністю тут є максимальна автоматизація, здійснювана на рівні комплексів, кожен з яких складається з автоматизованих модульних цифрових систем, об'єднаних єдиним операційним середовищем. Таку посівну техніку виробляють, глибоко модернізуючи сучасні посівні машини. При цьому удосконалення посівної техніки полягає в автоматизації управління всіма процесами, що дозволяє за допомогою програмного моделювання віртуально проектувати роботу посівного агрегату, а потім завантажувати розроблений сценарій в його комп'ютерні системи. Після цього комплекс здійснює запрограмовані операції, надаючи звіт про їх виконання в режимі реального часу. Збої або порушення в роботі агрегату усуваються з місця в кабіні або з офісу, якщо оператор посівного комплексу не вносить зміни шляхом коригування завантаженої програми.

Розглянута концепція відображає сучасну тенденцію побудови машин нового покоління, яка полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та

інформаційних). Зазначимо, що інтелектуальні вузли, на відміну від механічних елементів надають системі гнучкість, оскільки їх легко перепрограмувати під нове завдання. При цьому їх ціна постійно знижується, а функціональні можливості розширюються [164]. Однак виробники посівних машин віддають перевагу спрощеним механічним рішеннями (з підвищеною матеріало- та енергоємністю), але зі складними інтелектуальними системами управління.

1.5.2 Напрями розвитку та вдосконалення висівних систем із використанням фізичних процесів і фізико-технічних методів

Розробка і впровадження вібраційних та резонансних методів в енергоємних галузях виробництва, в тому числі і в СГВ, є важливою частиною вдосконалення енергоефективних технологій [19, 53]. Принцип вібраційної інтенсифікації витікання потоку матеріалу в висівних апаратах заснований на ослабленні структурних зв'язків між частинками сипучого матеріалу і руйнування склепінь, що утворюється над випускним отвором ємності. Сипке і несипке насіння набуває нового стану – квазірідинного, з властивістю високої плинності [121]. Спостережувана властивість і поведінка матеріалу в імпульсному полі сил з успіхом можуть бути використані для висіву різних культур. Надаючи масі насіння коливального руху з високою частотою та малою амплітудою, намагаються створити умови для вільного і рівномірного витікання їх з ємності. Таким чином, використання вібрацій обумовлює якісну зміну процесу висіву.

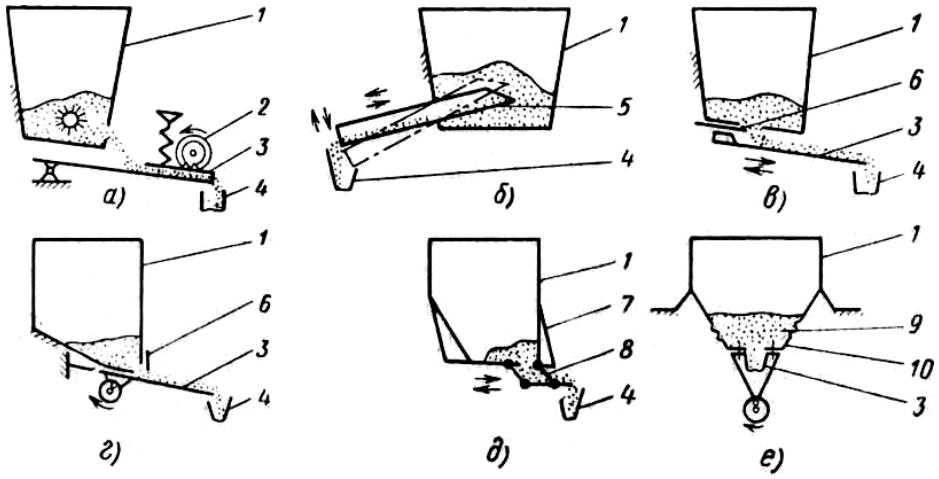
Тому одним з перспективних напрямків, які можуть бути використані при створенні та вдосконаленні висівних апаратів і систем, на думку багатьох дослідників [34, 46, 67, 75, 95, 96, 133, 212] є використання різних вібраційних методів у процесі формування вихідного потоку насіння. Використання вібрації при сівбі посівного матеріалу було покладено в основу розробок багатьох типів вібраційних висівних апаратів, де вібрація може бути спричинена механічним, пневматичним, гідравлічним і електромагнітним способами [34, 88-90, 99, 212].

Вібраційні висівні апарати забезпечують рівномірну сівбу, можливість висіву насіння з різними фізико-механічними властивостями і низьке

пошкодження насіння. Відсутність обертових частин, що контактують з посівним матеріалом, додаткових механічних передач між приводним двигуном і робочими органами для здійснення робочого процесу, простота конструкції і її висока надійність також є основними перевагами використання вібрацій у висівних апаратах і системах. Такі апарати менш металоємні і розраховані на більш високу швидкість роботи агрегатів [34, 39, 40, 72, 111, 207].

Як показали лабораторні та польові дослідження, вібровисівні апарати дають кращі результати в порівнянні з котушковими та іншими висівними апаратами. Конструктивно-технологічні схеми вібраційних апаратів простіше схеми котушкового апарату. Незважаючи на відмінності в конструкціях, вібраційні висівні пристрої працюють за єдиним принципом, заснованому на примусовому проходженні посівного матеріалу через отвори висівного апарату при його коливаннях [47, 95].

Принципові схеми вібраційних висівних апаратів і систем надзвичайно різноманітні [35, 43, 46, 48, 81, 153, 155, 178, 190, 253]. Класифікація вібраційних висівних апаратів представлена на рис. 1.3 [34].



1 – бункер; *2* – храповик; *3* – лоток; *4* – воронка; *5* – трубка; *6* – заслінка; *7* – підвіска; *8* – регулятор норми висіву; *9* – гнучкий зв'язок; *10* – дно з отвором

Рисунок 1.3 – Класифікація конструкцій вібраційних висівних апаратів конструкції: В. А. Желіговського (*а*); Н. Е. Кудрявцева (*б*); Н. В. Антонова (*в*); Н. В. Сегеди (*г*); А. С. Бойко и В. А. Скользаєва (*д*); експериментальної (*е*) (*джерело: розроблено в [34], с.59*)

Деякі автори [57, 96] вважають, що перспективним напрямом для підвищення врожайності та зниження витрат є дослідження і розробка процесу багатоструминного вібраційного висіву з використанням висівних апаратів, робота яких заснована на формуванні потоку насіння шляхом поєднання вільного та вимушеного їх витікання за рахунок низькочастотних коливань шару насіння. Ці апарати більш універсальні, дозволяють вносити мінеральні добрива, формувати рівномірні потоки насіння, що відрізняються за фізико-механічними властивостями, а також вони є дешевші у виготовленні.

Проте, незважаючи на переваги вібровисіву і різноманітність конструкцій висівних апаратів і систем, запропоновані технічні рішення щодо застосування в посівних машинах вібрації за допомогою механічних пристроїв не знайшли широкого розповсюдження. При цьому також залишалися недостатньо вивченими техніко-економічні показники пропонованих посівних машин [136].

Підвищення ефективності існуючих та реалізація нових технологій посіву можливе на основі застосування звукових та ультразвукових коливань. Обумовлено це тим, що ультразвукові коливання впливають практично на усі відомі процеси [13].

В даному випадку має значення зниження сил тертя в шарі посівного матеріалу під впливом ультразвукових коливань. В дослідженнях [123], встановлено, що сила тертя в результаті впливу ультразвукових коливань може знижуватися в 2,0...2,3 рази (рис. 1.4). Попередні результати показують можливість значного зниження потужності і металоємності машин при підвищенні продуктивності, ККД та екологічної безпеки.

В роботі [61] пропонується пристрій, що забезпечує рівномірний висів при мінімальних нормах, за допомогою надання насінню більшої сипучості. З цією метою в стінці корпусу запропонованого висівного апарату біля входу насіння в котушку встановлено джерело звукових коливань (рис. 1.5).

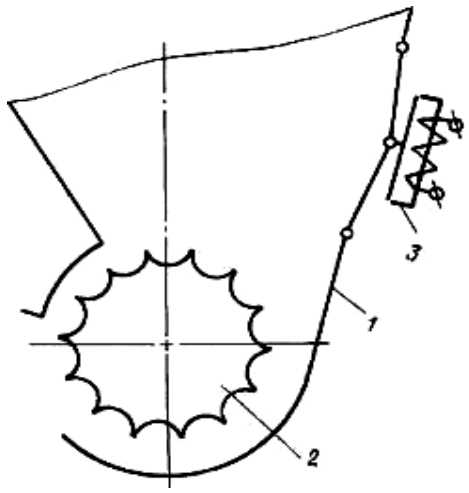
Апарат працює наступним чином. Звукові коливання, що надходять від звукогенератора *3*, призводять насіння в хаотичний рух відносно одне одного, в результаті чого різко підвищується плинність насіння, і воно вільно проходить до котушки *2* і подається нею в насіннєпровід. Регулювання норми висіву

проводиться, як і в існуючих котушкових апаратах, зміною робочої довжини котушки та її обертів.



Рисунок 1.4 – Вплив ультразвуку на силу тертя

(*джерело: розроблено в [123], с. 5*)



1 – корпус; *2* – котушка; *3* – звуковий генератор

Рисунок 1.5 – Схема конструкції звукового активатору витікання насіння в висівній системі

(*джерело: розроблено в [61], с. 2*)

Електротехнології та електропривод в роботі висівних апаратів і систем передбачають використання технічних засобів на основі фізико-технічних методів застосування електроенергії в посівних машинах.

Як зазначається в роботах [169, 279], серед найважливіших завдань створення техніки нового покоління, які визначають розвиток галузі, виділяється застосування індивідуальних електроприводів робочих органів машин. Електроенергія володіє найбільш високою здатністю її простого перетворення в інші види енергії, великою концентрацією в одиниці об'єму і маси електроустановок, легкої подільністю по потужності і напрузі, гнучкою керованістю і передачею на відстань, високою гігієнічністю і збереженням навколишнього середовища. У зв'язку з цим, існуючі технології по мірі можливості замінюються на електротехнології, в яких робочим органом може бути безпосередньо електрична енергія, напруга, струм, електромагнітне поле і т.п. [29, 196, 285]. Як показує досвід застосування електричних передач, це дає

можливість реалізувати гнучке компонування і спрощення кінематичних зв'язків. Вони також більш схильні до автоматизації і плавного регулювання і виявляються економічно доцільними у застосуванні з активними робочими органами, навіть при використанні нерегульованого приводу [20, 73, 83, 236, 287].

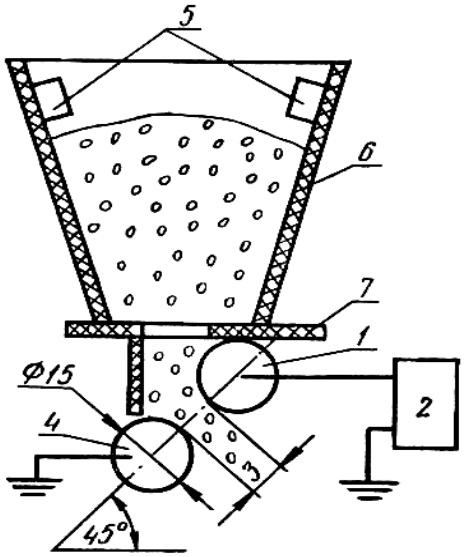
Згідно робіт [20, 198], електропривод розширяє можливості техніки. Через кілька років електропривод мобільної СГТ буде поширеним явищем у Європі та Північній Америці. Невеликі електродвигуни, що живляться від батареї або генератора, будуть контролювати функції, які раніше забезпечував механічний або гідравлічний привод [279, 280]. Електропривод дає нові можливості в експлуатації посівного обладнання: високошвидкісне вимірювання кількісних показників посіву, регулювання швидкості процесу, засів однієї смуги ґрунту двома видами насіння одночасно. Тому в даний час мобільний електропривод є загальносвітовим трендом. В СГТ необхідність в електроприводі зросла в зв'язку з тим, що технічні засоби стають складніше і продуктивніше, збільшуються їх функціональні можливості і, відповідно, необхідний розвинутий потік потужності з її мінімальними втратами, оскільки механічний привод надто ускладнюється, а у гідравлічного приводу недостатній ККД.

За розрахунками фахівців, тотальна електрифікація повинна початися після розробки та впровадження двигунів стандарту Tier-4, хоча перші спроби здійснюються вже зараз. Випробування показують, що електродвигуни забезпечують кращий пусковий момент, плавне прискорення і краще гальмування, а економія палива складає більше 20% [194].

При посіві електромеханічними апаратами електрика служить, в основному, для приводу робочих органів, а механіка виконує основну роботу по дозуванню і транспортуванню насіння. Проте можливі варіанти конструкцій апаратів, в яких електрика покращує умови дозування насіння і виносу його з насінної камери механічними пристроями [153].

В даний час розроблено значну кількість різних конструкцій електромагнітних висівних апаратів, як однозернових, так і формуючих безперервний потік насіння (щілинних, фрикційно-конусних, барабанних, дискових та ін.) [58, 59, 98, 122].

Формування безперервного потоку посівного матеріалу у висівних апаратів для зернових сівалок та аналіз результатів експериментальних досліджень [215] показує, що витрату гравітаційного потоку сипучого матеріалу можна регулювати в широких межах за допомогою електричного поля. Розроблений для цього експериментальний апарат щілинного типу схематично представлений на рис. 1.6.



1,4 – електроди; *2* – високовольтне джерело; *3* – насіннєпровід; *5* – мікровібратори; *6* – бункер; *7* – механічний затвор

Рисунок 1.6 – Схема конструкції апарату щілинного типу з регулюванням витрати насіння електричним полем (*джерело: розроблено в [215], с. 57*)

Робочий орган апарата виконаний у вигляді паралельних циліндричних електродів *1* і *4*, встановлених під бункером *6*, який виготовлений з електроізоляційного матеріалу. Електроди *1* і *4* з'єднані з високовольтним джерелом *2*. Останнє включає в себе високовольтний анодний трансформатор, випрямний блок і перемикач для живлення електродів постійним струмом або змінним струмом промислової частоти.

У верхній частині бункера встановлено два мікровібратори *5* сумарною потужністю 8 Вт. Мікровібратори виконані у вигляді реле напруги з самоблокувальними контактами. В залежності від кінцевої мети, під електродами розташовують насіннєпровід *3* або прийомну ємність для посівного матеріалу. Експериментальний апарат обладнаний також механічним затвором *7* для перекриття гравітаційного потоку.

Принцип роботи апарату наступний. Посівний матеріал надходить з бункера *6*, а на електродах *1* і *4* встановлюється певна напруга від джерела *2*. Під дією електричного поля насіння, що знаходиться в міжелектродному просторі, орієнтуються і утворює ланцюги, які починаються на одному електроді і закінчуються на іншому. Наявність ланцюжків збільшує внутрішнє тертя в об'ємі насіннєвого матеріалу і зменшує його витрату через щілину, тобто через міжелектродний простір. Дослідження роботи електрифікованого апарату показує, що за допомогою електричного поля витрату можна зменшити до значень, що відповідають нормі висіву при заданій швидкості руху сівалки.

В даний час існує ряд висівних апаратів, що містять в своїй конструкції поєднання дозуючих та приводних елементів з використанням для роботи різних видів енергії (механічної, електричної, пневматичної) [212]. Ці апарати (електромеханічні, пневмоелектричні, пневмомеханічні, пневмоелектромеханічні) можна об'єднати в розряд комбінованих.

Практика показує, що раціональним є поєднання вібродозуючого елемента з електроприводом. Це знайшло відображення в вібродискретних висівних апаратах [30, 137, 213]. Найбільш відомою конструкцією даного виду висівних пристроїв є висівна система Сухіна (ВСС) [55, 191]. Сучасний вигляд ВСС відображає конструктивна схема, наведена на рис. 1.7 [45].

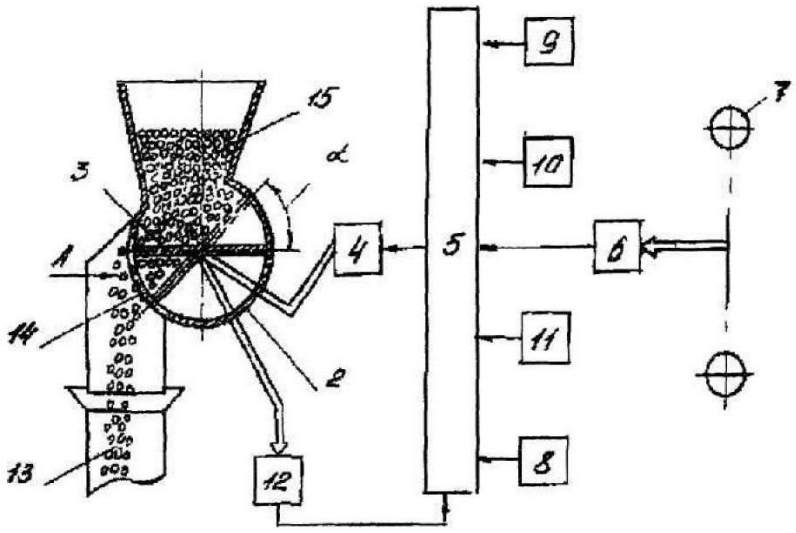


Рисунок 1.7 – Конструктивна схема вібродискретної висівної системи (позначення в тексті) (*джерело: розроблено в [45], с. 4*)

Зазначена висівна система вдосконалена з метою розширення технологічних можливостей висіву шляхом вдосконалення конструкції дозатора, електроприводу і його органів управління, яке здійснюється через програмно-підсилювальний блок. Вона також забезпечує підвищення якості посіву, зниження травмування насіння, розширення діапазону норм висіву і висіяних культур, зниження споживання енергії електроприводом.

Це досягається тим, що висівна система (рис. 1.7) конструктивно складається з бункера для насіння *1*, до відчиненого вікна якого приєднані дозатори *2* циліндричної форми. Дозатори мають витік (отвір витікання) для насіння у вигляді трикутного вікна з можливістю перекриття його затвором *3*. Затвор встановлений на осі дозатора, має вигляд пластини, що вільно обертається, і поворот якої здійснюється кроковим двигуном слідкуючого електроприводу *4*. Обмотка крокового двигуна підключена до виходу програмно-підсилювального блоку *5*, виконаного у вигляді мікропроцесора, який скомбінований з підсилювачем потужності і призначений для обробки сигналів, що надходять до нього, а також управління роботою висівної системи. Кроковий електродвигун працює по командам, які надходять від датчика швидкості руху *6*, який взаємопов'язаний з опорним колесом *7* висівної системи, блоку контролю, сигналізації та індикації *8*, задатчиків *9, 10, 11* і датчика зворотного зв'язку положення затвора *12*. До нижньої частини дозатора *2* приєднано насіннєпровід *13*, по якому від витоку *14* насіння *15* потрапляє в ґрунт.

Висівна система працює наступним чином. Перед початком роботи на задатчиках *9, 10, 11* встановлюються значення величин: α - кут відкритого стану затвора (амплітуда коливання), m - тривалість відкритого стану затвора, α_n - початковий кут відкритого стану затвора. Від величин параметрів α і m залежить норма висіву, тому їх значення вибираються залежно від розмірів, фізичних властивостей насіння, у відповідності з обумовленими агротехнічними вимогами. Величина α встановлюється в залежності від розміру насіння. Початковий кут відкритого стану затвора повинен бути таким, щоб насіння з дозатора не висипалося і в той же час затвор не травмував його.

З початком руху висівної системи команда, яка надходить від опорного колеса *7* у вигляді імпульсного сигналу від датчика швидкості руху *6*, передається до мікропроцесора програмно-підсилювального блоку *5*, де перетворюється в командні імпульси керування кроковим двигуном слідкуючого електроприводу *4*. Кроковий двигун, в залежності від величин, встановлених на задатчиках *9, 10, 11*, періодично повертає затвор *3* в дозаторі *2* на відповідний кут за проміжок часу *x*.

Насіння *15* з бункера *1* під примусовим впливом задньої частини затвора *3*, а також гравітації потрапляє через отвір витікання (джерело) *14* насіннєпроводу *13* і далі в ґрунт. Процес висіву та положення затвора *3* постійно контролюється датчиком зворотного зв'язку *12* положення затвора слідкуючого електроприводу *4*. У разі збою в роботі затвора (попадання стороннього тіла) надходить відповідний сигнал до програмно-підсилювального блоку *5*, який видає команду на збільшення крутного моменту крокового двигуна і зусилля, яке передається на затвор, збільшується. Це дозволяє виштовхнути стороннє тіло. Якщо цього не сталося, то робота затвора зупиняється, а блок контролю, сигналізації та індикації *8* видає інформацію про характер несправності.

Завдяки такій конструкції висівної системи розширюються технологічні можливості процесу висіву: розширюється діапазон норм висіву, діапазон висіяних культур, підвищується якість сівби, знижується травмування посівного матеріалу, зменшується споживання електроприводом енергії і полегшується обслуговування висівної системи.

В удосконаленому вигляді, з використанням результатів роботи [45], ВСС з вібродискретними висівними апаратами (рис. 1.8) є основою відомих посівних машин «Клен» [180] (рис. 1.9).

На базі ВСС розроблені і випускаються машини СЗС-6 [137], СЗП-3,6А(СВД) [24], СЗП-3,6Б [213], СЗ-5,4-06 [52], а також комплекти ВСС для переобладнання посівних машин СЗ-3,6; СЗП-3,6; СЗТ-3,6 [179]. Однак, згідно роботи [119], при роботі таких апаратів відзначена підвищена нерівномірність висіву. Крім того, вартість сівалок з вібродискретною висівною системою значно вище у порівнянні з котушковою системою і ПЦВС.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд висівного апарату сівалки «Клен» (*1*) з кроковим електродвигуном (*2*)



Рисунок 1.9 – Зернова сівалка «Клен-6» (*джерело: розроблено в [180], с. 35*)

В цілому дослідження, присвячені обґрунтуванню параметрів і режимів механізованої сівби насіння апаратами з електромагнітною системою дозування, є актуальними і мають важливе господарче значення [136]. В посівних машинах з традиційними висівними системами також застосовують електропривод окремих пристроїв. Це викликано наступними причинами.

В процесі експлуатації посівних машин спостерігаються недоліки, що негативно впливають на якість висіву. По-перше, привод вентилятора пневматичних сівалок здійснюється від ВВП трактора через систему механічних передач. Оскільки частота обертання колінчастого вала двигуна і зв'язаного з ним ВВП змінюються в залежності від навантаження в досить широких межах, такі ж зміни зазнає і частота обертання вала вентилятора. В результаті змінюються параметри повітряного потоку, за допомогою якого здійснюється подача посівного матеріалу по сошниках і кількість поданого насіння. По-друге, привод котушкового висівного апарату також не відрізняється досконалістю, оскільки опорно-приводне колесо посівної машини може пробуксовувати або заклинювати в результаті попадання в підшипники ґрунтового абразиву, рослинних і пожнивних залишків. Крім того, наявність електричного приводу висівного апарату дозволяє виключити ланцюгові і карданні передачі приводу висівного апарата та знизити рівень шуму. Тому впровадження електроприводу вентилятора і висівного апарату, як засобу підвищення якості сівби, є актуальним науковим і практично значущим завданням [38, 39, 166].

Фірми Allis Chalmers і White ще у 1980-х рр. обладнали сівалки електроприводом вентилятора, живлення якого здійснювалося від тракторного генератора або від батарей. У сівалках Allis Chalmers 600/770 вентилятори (по одному на кожні дві або три секції) приводяться в дію електродвигунами з живленням від генератора, встановленому на ВВП трактора. Електричний привод дозволяє компонувати широкозахватні сівалки із стандартних секцій, поліпшити рівномірність розподілу повітряного потоку, а, отже, і точність висіву [102].

Практичне застосування електроприводу дозаторів вже має місце в деяких посівних машинах. У сівалок групового централізованого висіву розглянемо його на прикладі посівних машин фірми Kuhn (рис. 1.10) [221] и Sulky (рис. 1.11) [168].

Дозатори посівних машин фірми Kuhn виготовляються з нержавіючої сталі, з метою зменшення зносу і корозії. Електричний привод забезпечує такі функції, як встановлення на норму висіву або зміну норми висіву з місця оператора. Розроблений компанією Sulky централізований дозатор приводиться в дію електродвигуном с радарним вимірником швидкості. Він забезпечує точне дозування для будь-якого виду насіння в діапазоні норм висіву 1...450 кг/га.



Рисунок 1.10 – Електропривод дозатора сівалки фірми Kuhn (*джерело: розроблено в [221], с. 8*)



Рисунок 1.11 – Електропривод дозатора сівалки фірми Sulky (*джерело: розроблено в [168], с. 11*)

В посівних машинах Solitair12 [91], електроприводом також приводиться в дію вал висівного апарату. Електронна система управління змінює число обертів валу в залежності від швидкості. Датчик імпульсів на спеціальному колесі, встановленому між посівними секціями, вимірює пройдену відстань. Колесо не

передає зусилля і обертається без пробуксовування, забезпечуючи рівномірну роботу приводу. Шість котушок висівного апарата для посіву різних видів насіння регулюються на норму висіву 1,5...300кг/га Відключенням окремих котушок можна збільшити частоту обертання валу висівного апарату при посіві малими нормами, що покращує поздовжній розподіл насіння в рядку.

Висівний апарат з кроковим електродвигуном для приводу котушки розглядається в роботі [56]. Крім того, для управління роз'єднувачами приводів висівних апаратів, вентиляторів і пристроїв формування технологічної колії використовують електромагнітні муфти [49].

Для синхронізації висіву зі швидкістю переміщення, гідроелектричний пристрій синхронізації зернових сівалок фірми "Kirchberger" (Німеччина) дозволяє з допомогою мікропроцесора автоматично регулювати частоту обертання гідродвигуна - приводу висівного апарату, в залежності від сигналів, що надходять в електронний блок від датчиків вимірювання норми висіву, швидкості пересування сівалки і обертання вала висівних апаратів. Гідродвигун з'єднаний з гідросистемою трактора, в кабіні якого закріплений електронний блок, що дає можливість в поточному порядку змінювати норму висіву [277]. Подібний пристрій синхронізації передбачено для зернових сівалок "Chinook 1203" фірми "Cereal Implement" (Канада) і "Rapid RDA" фірми "Väderstad" (Швеція). Застосування такої синхронізації спрощує управління висівом і підвищує надійність роботи. І хоча значно зростає вартість системи, через підвищення продуктивності сівалки, економію часу на обслуговування та економію посівного матеріалу, вона окупається за 1...2 роки, згідно [274].

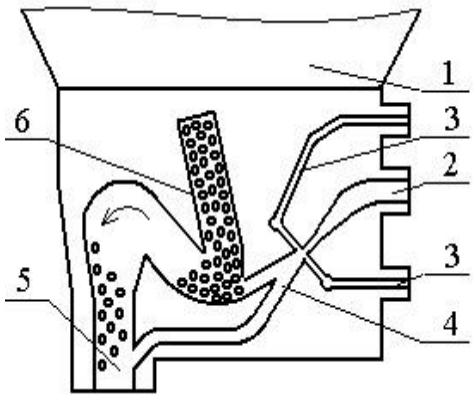
Конструкція електромеханічної системи синхронізації подібна гідроелектричній. Відмінність лише полягає у застосуванні електричного мотор-редуктора в якості виконавчого механізму. Така система встановлена на зернових сівалках CLF і CLH фірми "Nordsten", "Solitair 8/12" фірми "Lemken-Chervona Zirka". Перевага цієї системи у тому, що вона дешевша гідроелектричної.

В ПЦВС електродвигуни застосовуються також для приводу активних розподільних пристроїв, з метою підвищення якості висіву і розподілу насіння по сошниках [101]. Однак, незважаючи на більш якісний розподіл матеріалу по

насіннєпроводам, такі розподільники мають ряд істотних недоліків: наявність обертових частин викликає травмування матеріалу, а частинки матеріалу можуть призводити до заклинювання крильчаток. Оскільки частина енергії повітряного потоку витрачається на привод робочих частин, потрібно встановлення більш потужних вентиляторів; для зниження ймовірності заклинювання крильчаток потрібна підвищена точність у виготовленні робочих органів; зниження швидкості повітряного потоку призводить до зниження частоти обертання крильчаток, що особливо актуально на агрегатах з приводом вентилятора від ВВП трактора; необхідний постійний контроль обертання крильчатки. Всі вищевказані недоліки призвели до того, що розподільники подібного типу в даний час не знайшли широкого застосування [222].

Із застосуванням елементів пневмоніки у якості логічних і виконавчих пристроїв, створені нові висівні апарати і системи з порційним формуванням вихідного потоку насіння, тобто для рядкового висіву [16, 141, 144, 151, 284].

Розглянемо схему повнопоточного висівного апарата (рис. 1.12), в якому відсутня циркуляція матеріало-повітряного потоку, тому він простий за конструкцією і може застосовуватися для дозування гранульованих добрив [87].



1 – насіннєва камера; *2* – живлячий канал; *3* – управляючий канал; *4* – струминний елемент; *5* – вихідний канал; *6* – завантажувальний канал

Рисунок 1.12 – Конструктивна схема повнопоточного висівного апарата з елементом пневмоніки (*розроблено в [87]*)

Процес відбору порцій насіння із загальної маси в такому висівному апараті здійснюється за рахунок енергії потоку повітря надлишкового тиску, що

направляється в робочу камеру силовим струминним елементом *4*. Елемент перемикає повітряний струмінь на викид порції матеріалу при поданні на управляючі канали *3* елементу сигналів із заданою частотою.

В роботі [1], з метою підвищення якості висіву, зменшення енергоємності процесу висіву і зниження ступеня пошкодження посівного матеріалу, представлена вдосконалена схема повнопоточного висівного апарата, обладнаного вихровою камерою (рис. 1.13).

Пристрій містить джерело стисненого повітря *1*, вихрову камеру *2* з соплом живлення *3* і насіннєпроводом *4*, струминний елемент *5*, сполучений вихідним каналом *6* постійної тривалості з соплом живлення *3* вихрової камери *2*, а іншим вихідним каналом *7* – із насіннєпроводом *4* камери *2*, атмосферне сопло *8* насіннєпровода *4*, синхронізатор потоку матеріалу *9* у вигляді генератора сигналів *10* і формувача імпульсів постійної тривалості *11*, сполученого з управляючими соплами *12* і *13* струминного елемента *5*. Для запобігання ежекції матеріалу з вихрової камери в період між імпульсами постійної тривалості служить атмосферне сопло *8*. Атмосферне сопло *8* і вхідний канал струминного елемента *5* утворюють з насіннєпроводом *4* гострі кути у напрямку транспортування матеріалу.

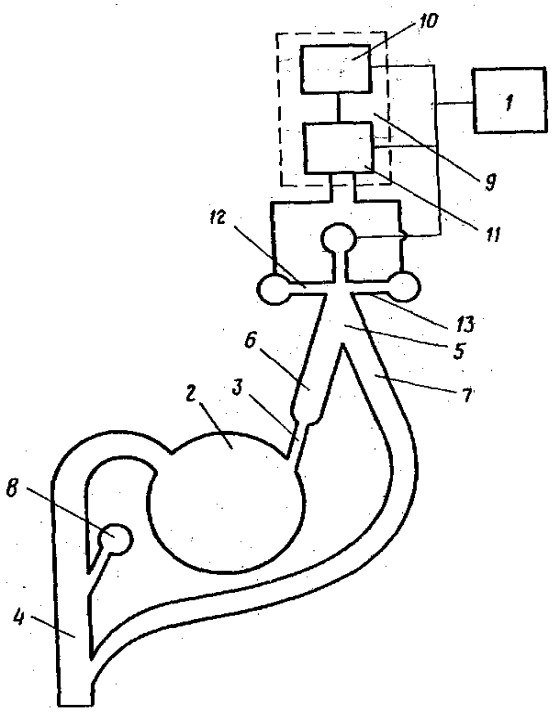


Рисунок 1.13 – Конструктивна схема висівного апарату порційного висіву з вихровою камерою (позначення в тексті) (*розроблено в [1]*)

Апарат працює наступним чином. Сигнал постійної тривалості, вироблюваний синхронізатором потоку матеріалу *9* з допомогою генератора сигналів *10* і формувача імпульсів постійної тривалості *11*, надходить в управляюче сопло *13* струминного елемента *5*, що викликає переключення струменя елемента *5* з вихідного каналу *7* у вхідний канал *6* імпульсами постійної тривалості.

При перемиканні струменя в елементі *5* з одного вихідного каналу в протилежний, в останньому виникає імпульс повітряного потоку. Цей імпульс надходить через сопло живлення *3* у вихрову камеру *2*, де аерує, відбирає і транспортує матеріал у насіннєпровід *4*. По закінченні сигналу постійної тривалості синхронізатора потоку матеріалу *9*, струмінь повітряного потоку перемикається з вихідного каналу *6* у вхідний канал *7* струминного елемента *5*. В каналі *7* виникає імпульс повітряного потоку, який потрапляє у насіннєпровід *4* і передається матеріалу, який відібрано імпульсом постійної тривалості. Це дозволяє швидко перемістити відібраний матеріал до сошника в борозну. Розглянуте технічне рішення було реалізовано у висівних апаратах і системах, встановлених на експериментальних овочевих сівалках СО-4,2 П (рис. 1.14), а також на сівалках-культиваторах для стрічкової сівби овочевих культур (рис. 1.15).



Рисунок 1.14 – Сівалка СО-4,2П з висівною системою з елементами пневмоніки (*розроблено автором*)

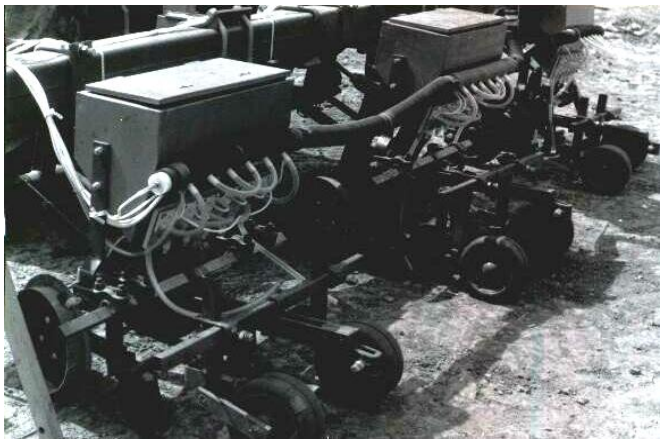
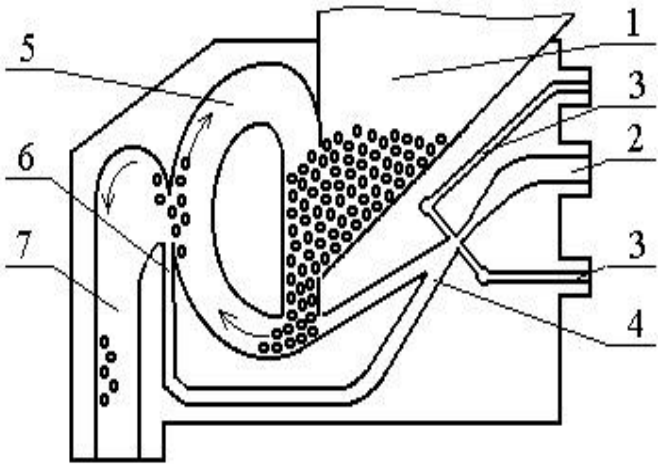


Рисунок 1.15 – Сівалка-культиватор з висівною системою на основі елементів пневмоніки (*розроблено в [26]*)

Дозатори з циркуляційним рухом насіння в робочій камері (рис. 1.16) можуть забезпечувати висів насіння за рахунок кількісного регулювання потоку

посівного матеріалу шляхом застосування кільцевої камери *5* і додаткового повітряного сопла *6* для циркуляції насіння, з відділенням порції насіння, що надходить в насіннєпровід *7* [144].

Сутність даного способу формування вихідного потоку насіння полягає в тому, що перед дією пневмоімпульса на посівний матеріал виконується стабілізація матеріалу, що надходить з бункера в кільцеву вихрову камеру. Далі порцію постійного об'єму матеріалу пневмоімпульсом переміщують по замкнутій траєкторії вихрової камери у вертикальну камеру стабілізації; при цьому в кожному циклі переміщення здійснюють додатковий вибір малих доз матеріалу, а під час відсутності пневмоімпульсів в зону вибору малих доз матеріалу подають пневмоімпульси з додаткового сопла, спрямовані в напрямок руху матеріалу.



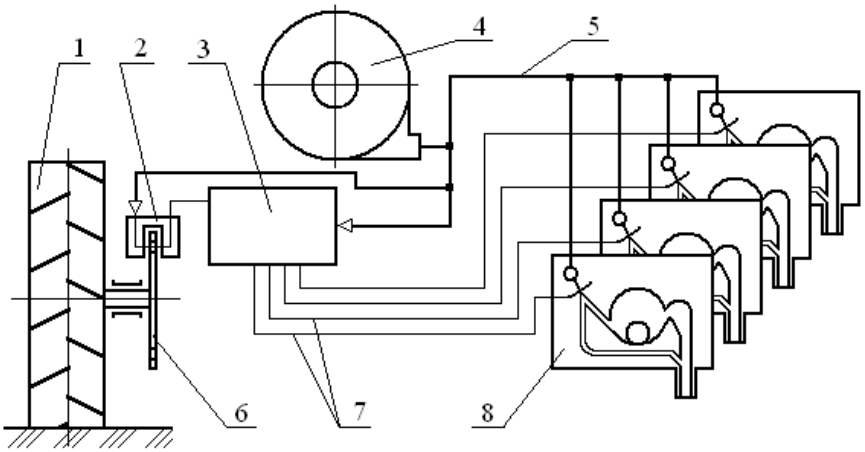
1 – насіннєва камера; *2* – канал живлення; *3* – управляючий канал; *4* – струминний елемент; *5* – кільцева камера; *6* – додаткове сопло; *7* – вихідний канал

Рисунок 1.16 – Схема конструкції циркуляційного висівного апарата з елементами пневмоніки для порційного висіву (*розроблено в [144]*)

Пропонований спосіб дозування дозволяє отримати високу якість дозування сипких і несипких матеріалів, з високою продуктивністю та малою енергоємністю процесу. Для сівби зернових культур висівними пристроями з елементами пневмоніки необхідні подальші дослідження і розробки, які враховують специфіку роботи зернових сівалок, що вимагає зниження енерговитрат на роботу висівної системи, оптимізації проточних частин силових струминних елементів і робочих камер висівних апаратів.

У висівних системах з елементами пневмоніки і струминної техніки застосовується дискретна синхронізація висіву зі швидкістю переміщення. Така синхронізація не інерційна, не матеріаломістка, має мінімальне енергоспоживання і оперативно налаштовується на задану норму висіву. Дискретна синхронізація передбачає зміну частоти вхідного сигналу на висівний апарат пропорційно частоті обертання приводного мірного колеса, котре відраховує шлях, пройдений посівної машиною.

В даному випадку дискретна синхронізація представлена пневмоімпульсною системою. При пневмоімпульсній синхронізації генеруються пневмоімпульси, що управляють висівними апаратами. В систему синхронізації входять управляючі елементи струминної пневмоавтоматики, об'єднані в блоці управління (рис. 1.17).



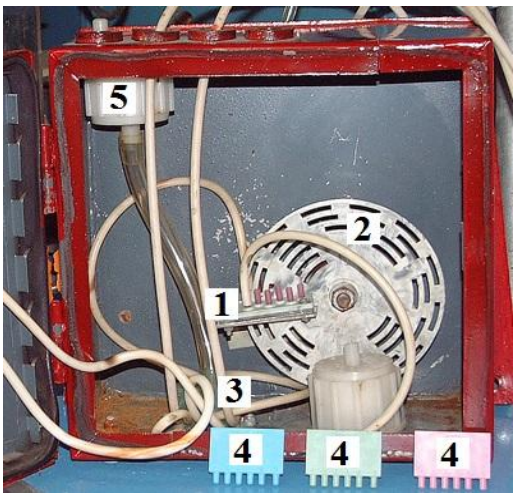
1 – приводне колесо; *2* – датчик швидкості; *3* – блок управління; *4* – джерело надлишкового тиску; *5* – повітряпровід; *6* – перфорований диск; *7* – сигнальні трубопроводи; *8* – висівні апарати

Рисунок 1.17 – Схема пневмоімпульсної синхронізації (*розроблено в [269, 271]*)

Живлення струминних елементів системи синхронізації здійснюється від джерела надлишкового тиску, а генеровані пневмоімпульси передаються через сигнальні трубопроводи. Норма висіву встановлюється з допомогою перфорованого диску в блоці управління, конструктивне виконання якого показано на рис. 1.18.

Пневмоімпульси в блоці управління виробляються генератором пневматичних імпульсів, який складається з пневмоструминного датчика *1* з ніпелями і перфорованого диска *2*, що обертається від приводного колеса сівалки

допомогою клинопасової передачі. Перфорований диск має декілька кіл з отворами для генерації сигналів в процесі руху. Далі пневмоімпульси калібруються формувачем імпульсів постійної тривалості *3*, що працює на основі управляючих елементів пневмоніки *4*. Формувач імпульсів разом з генератором утворює блок управління і синхронізації процесу висіву зі швидкістю переміщення. Повітря під тиском надходить від вентилятора через фільтр *5*.



1 – пневмоструминний датчик; *2* – перфорований диск; *3* – формувач імпульсів постійної тривалості; *4* – управляючі елементи пневмоніки; *5* – фільтр

Рисунок 1.18 – Блок управління і синхронізації висіву зі швидкістю переміщення сівалки: (*розроблено в [143], с. 81, [269]*)

Встановлено в [143], що частотне регулювання пневмоімпульсів має наступні переваги:

- висока точність регулювання в найбільш економічному режимі;
- можливість віддаленого управління і діагностики роботи системи;
- відносна простота конструктивної реалізації.

Виявлено, що зміна фізико-механічних властивостей ґрунту і швидкості сівалки не впливає на синхронність роботи висівних апаратів з її переміщенням.

1.6 Вепольний напрямок розвитку висівних систем

Якщо розглянути динамічні закони розвитку технічних систем щодо технічних засобів АПК [139], то вони відображають їх розвиток під дією

технічних і фізичних факторів, а також процеси функціонування і розвитку систем. При цьому відображаються головні тенденції розвитку технічних систем в наш час. В зв’язку з цим привертає увагу те, що розвиток технічних систем йде в напрямку збільшення ступеня вепольности [8, 182].

Статистичний аналіз технічних рішень показав, що для підвищення ефективності технічних систем їх структура повинна бути виконана певним чином. Модель такої структури називається веполем. Веполь – мінімально керована технічна система, що складається з двох взаємодіючих об'єктів і енергії їх взаємодії [42].

Взаємодіючі об'єкти умовно позначаються «B_1 і B_2», а енергія взаємодії - полем і позначається «$П$».

При цьому вепольний аналіз включає в себе певні правила і тенденції, які підкоряються закону збільшення ступеня вепольности [76, 77]. Зміст цього закону полягає в тому, що невепольні системи прагнуть стати вепольними, а у вепольних системах розвиток іде в напрямку переходу від механічних полів до імпульсних і далі до електромагнітних, що відповідає розглянутій тенденції, згідно якої імпульсні і електромагнітні поля отримують поширення у техніці АПК.

Автор роботи [98] визначає такі технічні засоби, як ті, що використовують додаткові зовнішні поля.

Виходячи з напрямків вдосконалення, розглянутих у п. 1.5.2, можна зробити висновок, що в даний час має місце тенденція вепольного розвитку висівних апаратів і систем.

1.7 Розвиток технічних засобів для реалізації нових технологій посіву

1.7.1 Посівні машини для мультигібридної технології

Мультигібридна технологія передбачає можливість автоматичної зміни виду насіння під час переміщення сівалки по полю. В результаті з'являється можливість висіву не суміші насіння на всьому полі, а зонування ділянок і

засівання їх певним сортом [41, 148, 278, 254]. Посівна машина автоматично вибирає необхідну групу насіння для тієї чи іншої зони поля.

Наприклад, у тих частинах ділянки, де знаходяться високородючі ґрунти, можна висіяти високоврожайні сорти. На менш продуктивних ґрунтах можна використовувати невимогливі до якості ґрунту насіння. На полях з поганим дренажем у нижніх частинах краще висаджувати менш урожайні сорти, а насіння з високою врожайністю потрібно засівати на височинах.

Така диференціація дозволить підвищити врожайність і майже не залежати від особливостей ґрунту на полях.

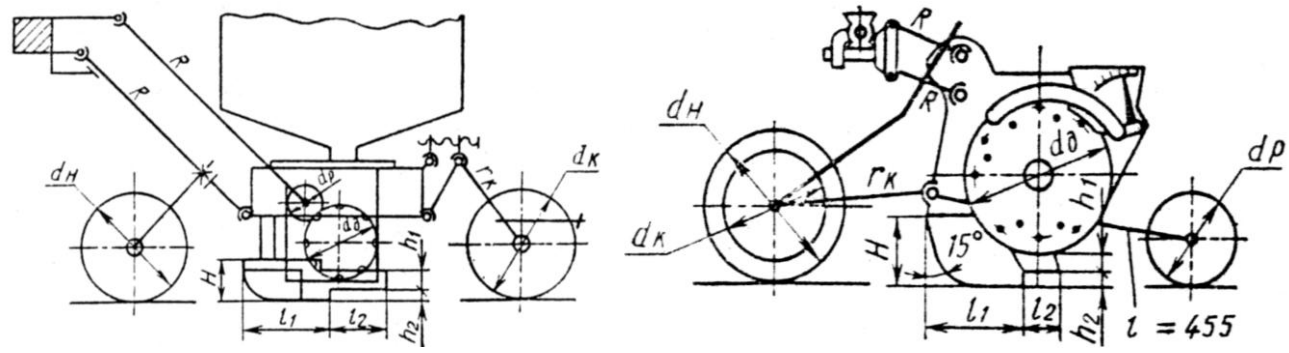
Під час випробувань нової технології приріст врожайності варіювався від двох бушелів на гектар (1 бушель – 20…27 кг зерна, в залежності від культури) і до десяти бушелів на гектар при використанні мультигібридного посіву. Якщо інші методи посіву дають хороший результат один рік і показують негативний результат на наступний рік, то випробування мультигібридного посіву довели, що цього можна уникнути, і в підсумку збільшити рентабельність сільського господарства та зберегти високу врожайність.

1.7.2 Сівалки точного посіву зернових культур

Необхідність більш рівномірного розміщення посівного матеріалу в просторі вимагає створення посівних машин з точним висівом насіння зернових культур. Рішенням проблеми створення посівної машини для точного або однозернового висіву зернових культур вже порівняно давно займаються вчені і конструктори [31, 33, 117, 163, 288].

Згідно робіт [25, 71], жорсткість вимог по якості сівби зернових дозволяє зменшити норму висіву приблизно в 1,5 рази і призводить до оптимізації умов росту і розвитку рослин, що, у свою чергу, дозволяє знизити втрати врожаю на 10...15% за рахунок збереження до 68% продуктивних стебел, у той час як при використанні існуючих сівалок з їх якістю посіву досягається лише 31,4...44,3% продуктивних стебел.

Проведеними дослідженнями була встановлена можливість зниження норм висіву зернових культур, а в країнах Західної Європи були створені зразки зернових сівалок на базі робочих органів просапних сівалок. Це причіпна сівалка «PCD-80» (фірми Hestair-Stanhey) з механічними висівними апаратами та індивідуальними бункерами для насіння (рис. 1.19, *а*), навісна сівалка «Monoair GS-23» (фірми H. Fähse), з пневматичними висівними апаратами та загальним бункером (рис. 1.19, *б*), сівалка «Helios-65» (Італія) [31, 106, 107, 120, 217].



а *б*

Рисунок 1.19 – Схеми секцій робочих органів сівалок PCD-80 (*а*) і Monoair GS-23 (*б*) *(розроблено в [120], с. 3)*

Конструкція висівного апарату, що забезпечує однозерновий висів, переважно насіння пшениці, розглядається також в роботі [60]. Новим у запропонованій конструкції є те, що засобом для поліпшення заповнення комірок насінням і видалення його з комірок є вібратор (модулятор) обертального руху висівного барабана, виконаний у вигляді пружного важеля з роликом, взаємодіючим з зубцями на висівному барабані. Вібраційне обертання висівного барабана дозволяє значно поліпшити заповнення комірок насінням і видаляти його з похилих осередків після виходу насіння з зони дії дугоподібного кожуха.

Проте в ході польових дослідів встановлено, що сівалки точного висіву менш універсальні, вимогливіші до якості підготовки ґрунту, менш зручні в обслуговуванні і, що найважливіше, ненадійні в роботі, складні в експлуатації і малопродуктивні, що стримує їх впровадження [106, 107, 119, 120, 130].

Тут можна відзначити ту обставину, що в період створення розглянутих робочих органів сівалок точного висіву була відсутня сучасна апаратно-

програмна і елементна база, застосувавши яку, можна було б компенсувати існуючі недоліки [17, 282].

1.7.3 Швидкісна сівба зернових культур

В останні роки в області посіву існує тенденція підвищення продуктивності збільшенням ширини захвату понад 9 метрів і робочих швидкостей руху понад 12км/год [37]. Однак це пов'язане з рядом труднощів, головна з яких – труднощі контролю оператором якості виконання технологічної операції. У зв'язку з цим, важливим напрямком вдосконалення конструкцій розподільників посівних машин централізованого висіву є максимальна автоматизація технологічного процесу і контроль якості його виконання. Саме в цьому напрямку працюють провідні світові виробники посівної техніки.

Австрійська фірма «Pöttinger Maschinenfabrik» розробила «розумну» систему розподілу Intelligent Distribution System з каналами розподільних головок, що підключаються роздільно (рис. 1.20). Це забезпечує гнучкість і зручність при закладці технологічної колії при незмінній точності нормі висіву, згідно [222, 275].



Рисунок 1.20 – «Розумна» система розподілу насіння фірми «Pöttinger»
(розроблено в [275], с. 101)

Для вимірювання матеріалопотоків у режимі реального часу розроблена система Seedector, яка працює на принципах радарної техніки. Її можна використовувати в сівалках для контролю блокування насіннєпроводів, перевірки

відключень або вимірювання повторного загортання насіння в режимі реального часу. Дана система відрізняється простотою і гнучкістю конструкції, компактністю і нечутливістю до забруднень. Застосування зазначених систем автоматизації значно полегшує працю механізатора і підвищує якість виконання посіву із здійсненням повного контролю.

Зважаючи на розглянуті напрямки розвитку висівних апаратів і систем зернових сівалок, при формалізації оцінки досконалості висівних пристроїв поряд з показниками якості висіву, в комплексі показників (1.1) має сенс застосувати зазначений в п. 1.4.3 коефіцієнт технічного рівня k_{mp}.

1.8 Аналіз стану автоматизації та інформатизації робочого процесу зернових сівалок

1.8.1 Напрямки автоматизації робочого процесу сільгоспмашин

Автоматизація нерозривно пов'язана зі сталою тенденцією до збільшення продуктивності й енергонасиченості МТА в умовах обмеження ресурсів. Перехід до комплексної автоматизації є наслідком зміни існуючих систем землеробства і системи машин [54, 127, 138].

Однак частка автоматизованих машин і устаткування в загальному обсязі їх випуску не перевищує 30%, причому застосовуються найпростіші засоби контролю і управління окремими робочими органами з використанням гідравлічних, механічних і комбінованих пристроїв. Застосування мікроелектроніки в системах автоматизації окремих груп машин знаходиться в межах 2…16% [103]. Тільки для 10% машин і знарядь розроблені засоби автоматичного управління нормою висіву зернових культур [242].

Тому розробка засобів автоматизації управління робочими процесами сільгоспмашин, зокрема висіву зернових культур на сьогодні є актуальним завданням [146, 147, 251, 251].

Значні витрати на вдосконалення функціональних можливостей механічних систем вже себе не виправдовують. При цьому очевидно істотне уповільнення

темпів зростання основних технічних характеристик і функціональних можливостей СГТ. Застосування електроніки дозволяє розширити і посилити функціональні можливості механічних систем і призводить до створення машин з новими можливостями. Стає очевидним, що тільки створення систем автоматичного управління і регулювання на базі мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки, збільшення швидкості обробки інформації дозволить підвищити технічний рівень засобів механізації [116, 205].

Сучасні тенденції при розробці нових машин полягають в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних) компонентів, які легко перепрограмовуються під нове завдання і є відносно дешевими [164]. Використання даного методу інтеграції дозволяє мінімізувати механічну складність машин і систем. На рис.1.21 представлений характерний графік, який відображає динаміку цього процесу у виробничих машинах за 30 років, починаючи з 1970-х років.

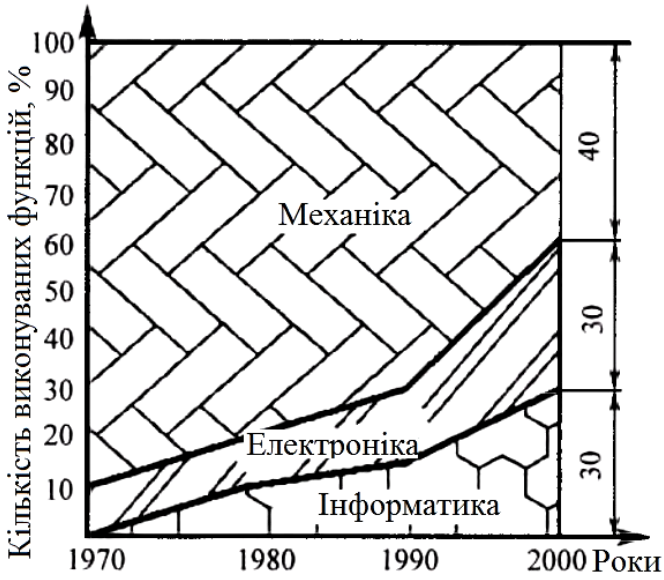


Рисунок 1.21 – Характер розподілу функціонального навантаження в сучасних виробничих машинах *(розроблено в [164], с. 122)*

Аналіз показує, що ще на початку 90-х років XX століття більшість функцій машин (більше 70%) реалізовувалося механічним шляхом. В даний час механічні пристрої все частіше стають вузьким місцем в складних машинах. Це пояснюється їх недостатньою функціональною гнучкістю, наявністю тертя, люфтів і пружностей в передачах, все зростаючою вартістю. Тому відбувається

поступове витіснення механічних вузлів електронними та комп'ютерними блоками. У деяких випадках обсяг функцій розподілено між механічними, електронними та комп'ютерними компонентами практично порівну, до чого необхідно прагнути при розробці нової техніки. При цьому частка комп'ютерної частини зросла за наступні 10 років удвічі, і є всі підстави прогнозувати збереження цієї тенденції в техніці майбутнього [164].

Тому процес автоматизації необхідно розглядати у взаємозв'язку з електронизацією, яку необхідно сприймати як процес насичення машинних агрегатів електронною технікою для створення автоматизованих систем управління (АСУ). Основне завдання електронізації – створення систем ефективного інформаційного забезпечення процесів управління та прийняття рішень. Використання сучасної мікроелектронної техніки дозволить перевести реалізацію концепцій автоматизації та розвитку АПК на якісно новий технічний рівень [103, 229].

Однак для цього необхідно завершити розробку єдиної концепції автоматизації з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки, елементної бази електроніки, комп'ютеризації, інформатизації та погодити її з системою машин і перспективними технологіями.

Практичне вирішення перспективних завдань автоматизації МТА та їх комплексів також вимагає поглиблених теоретичних досліджень. Дослідження з аналізу, синтезу та оптимізації систем керування машинами і агрегатами свідчать про те, що формується новий напрям землеробської механіки – теорія систем керування машинами, агрегатами і комплексами, тобто землеробська технічна кібернетика [82].

Виходячи з вищесказаного, очевидно, що в даний час переважають завдання, для вирішення яких потрібні якісно нові технологічні процеси і засоби виробництва. Створення машин і технологій, особливо починаючи з 1990-х років, йде на стику декількох науково-технічних напрямків (рис. 1.24) і є відповіддю виробників на поставлені технологічні, техніко-економічні та функціональні вимоги.

Фундаментальна відмінність нового покоління виробничих технологій і машин полягає в тому, що в їх основі інтегровані знання з таких раніше відокремлених областей, як високоточна механіка і комп'ютерне управління,

інформаційні технології та мікроелектроніка. Враховуючи принципову відмінність нових машин і технологій, сучасну фазу розвитку техніки можна віднести до п'ятого технологічного укладу.

Технологічний уклад – це сукупність взаємопов'язаних виробництв, що мають єдиний технічний рівень і синхронно розвиваються. В деяких країнах вже перейшли до формування нового технологічного укладу, заснованого на використанні новітніх досягнень в області біотехнологій, генної інженерії, інформатики, нанотехнологій, нових видів енергії [210]. Необхідним при цьому є своєчасне створення передумов для становлення ядра нового технологічного укладу, а також випереджальна модернізація його несучих галузей.

Проте в даний час у порівнянні з іншими розвинутими аграрними країнами, вітчизняні сільгоспвиробники ще недостатньо використовують технологічні, технічні, генетичні та інші досягнення науки і передового досвіду. З цієї причини рівень інтенсифікації галузі відстає від середньосвітових досягнень. Заводи випускають, в основному, морально застарілу техніку, розроблену 30...40 років тому. Через це сільгоспвиробники змушені застосовувати спрощені екстенсивні технології з використанням техніки третього, іноді четвертого технологічних укладів, розраховані на використання природної родючості ґрунту і які по продуктивності в 10...15 разів нижче, ніж у передових країнах світу. З цієї причини є неприпустимо великими втрати продукції, які стали негативним чинником економічних показників аграрної галузі [125, 173].

Передова аграрна наука повинна концентрувати зусилля на розробці машинних технологій нового покоління, оснащення машинно-тракторних парків технікою вищого технологічного укладу, що дає можливість при несприятливих погодних умовах істотно знизити вплив природних факторів, підвищити продуктивність і знизити витрати. Виробники сільгосппродукції розвинених країн світу поступово переорієнтовуються на використання мультиопераційної, комп'ютеризованої енерго- і ресурсозберігаючої техніки, що відповідає сучасним екологічним вимогам і дає можливість забезпечити біологічну та екологічну рівновагу. Тому сучасні високоінтенсивні ресурсозберігаючі технології засновані на стандартизованому, своєчасному, точному, ґрунтозахисному і екологічно

безпечному виконанні технологічних операцій. Техніка п'ятого технологічного укладу повинна забезпечувати прецизійне інформаційне управління виробничими процесами вирощування, збору врожаю та його зберігання [125, 173, 154, 276].

При цьому впровадження засобів автоматизації та елементів точного інформаційного землеробства є одним з найважливіших завдань створення техніки нового покоління і однією зі світових тенденцій, що визначають розвиток аграрної галузі [169]. Тому подальший розвиток технічного забезпечення повинен базуватися на створенні техніки 5-го і 6-го технологічних рівнів, насичених засобами інформатизації і комп'ютеризації. Її основна особливість полягає у автоматичній зміні режимів функціонування робочих органів на основі оперативної інформації для досягнення оптимального фазового стану оброблюваного об'єкта [128].

Розрахункова ефективність технічних засобів п'ятого покоління підтверджена з різних технічних і технологічних позицій. Це означає, що створення перспективної сільськогосподарської техніки з використанням інноваційних рішень дає можливість суттєво, більш ніж на 35%, скоротити витрати на технічне оснащення в собівартості сільгосппродукції і тим зробити внесок у підвищення рентабельності рослинництва [115].

1.8.2 Диференційований висів у системі точного землеробства. Особливості та переваги диференційованого висіву

Посівні машини при роботі в СТІЗ одночасно із традиційними завданнями щодо дотримання агровимог до сівби повинні виконувати додаткові завдання по реалізації "електронних" планів посіву, які синтезовані на основі алгоритмів оптимального співвідношення між агробіологічним потенціалом ділянок поля і нормою висіву. Тому в даний час нові дослідження і розробки концентруються в сферах програмного або адаптивного управління процесами посіву [91].

У загальному випадку, адаптивні елементи посівних пристроїв – це конструктивні елементи, що забезпечують можливість настроювання робочих параметрів в залежності від агротехнічних вимог і зовнішніх умов [92]. До них

відносяться дозуючі пристрої, елементи регулювання глибини ходу сошників, передавальні пристрої. Зміна налаштувань виконується попередньо до початку посіву або автоматично в ході його виконання.

Використання адаптивних елементів у висівних системах дозволяє поліпшити якість посіву за рахунок підвищення точності робочого процесу. Згідно з роботами [152, 201, 202], диференційований висів забезпечує: максимальну реалізацію сортових особливостей насіння; оптимальну щільність посівів; отримання запрограмованої врожайності; зниження пошкоджуваності рослин на 20%; збільшення врожайності на 3,0...5,5%; економію до 10...15% посівного матеріалу та ПММ.

Тому створення посівних машин і обладнання до них для диференційованого висіву передбачає розробку високоадаптивної дозуючої системи для висіву насіння, з урахуванням просторової варіабельності параметрів родючості поля. Вона повинна забезпечувати:

- стійкий висів з високою якістю, протягом усього періоду роботи;
- швидкодію і високу адаптивність при сівбі на одному полі у всьому діапазоні зміни норм висіву та поступальної швидкості руху агрегату;
- бути простою в управлінні, надійною в роботі і добре пристосованої до автоматизованого управління.

1.8.3 Реалізація диференційованого висіву та інформатизації робочого процесу посівних машин

Впровадження у виробництво диференційованого висіву стримується низкою причин. Серед них можна виділити механіко-технологічні, соціально-економічні та агрономічні [23].

Аналіз досліджень і публікацій дозволив встановити, що відомі вітчизняні та зарубіжні конструкції посівних машин не в повній мірі відповідають вимогам, що висуваються [129, 134]. Більшість існуючих сівалок морально застаріли і не пристосовані для диференційованого висіву, причому необхідне їх переобладнання пов'язане зі значними технічними і матеріальними витратами.

Також далеко не всі моделі піддаються оснащенню відповідним обладнанням. Найбільш серйозна проблема для невеликих господарств в тому, що неможливо використовувати для диференційованого висіву наявну техніку, яку в більшості випадків не можна модернізувати [79, 200]. Згідно роботі [79], ні одна сівалка, що серійно випускається в СНД, не пристосована для диференційованого висіву.

При роботі на мобільному агрегаті засоби автоматизації функціонують в умовах обмежених енергетичних ресурсів, так як підключається до бортової електромережі трактора. Це також стримує застосування відповідних пристроїв автоматики, а нестабільність параметрів бортового обладнання вимагає введення заходів захисту і стабілізації [86, 118].

Диференційований висів стримується недоліком наукових досліджень і розробок, залишається невирішеним питання створення і застосування порівняно простих, дешевих і надійних у використанні засобів технічної реалізації потокових диференційованих агротехнологічних впливів [4, 51].

Пристосованість конструкції машини до автоматизації та вимоги до неї, як до об'єкту автоматизації повинні визначатися за економічним критерієм. Такий підхід дозволяє виявити пріоритетність створення автоматичних систем на основі одержання максимального ефекту від їх застосування [103]. Тому при аналізі конструкцій та роботи засобів диференційованого висіву виникає питання щодо витрат на переобладнання або адаптацію вживаних машин до даної технології. Встановлено, що купівля техніки, яка дозволяє сіяти диференційовано - найбільш витратна стаття в СТІЗ [200]. Через дорожнечу електронного обладнання (до 50% вартості машини) така техніка не набула досить широкого поширення [119, 219].

Сучасні посівні машини зарубіжних виробників випускаються з можливістю установки обладнання для диференційованого посіву. Якщо сівалка була придбана без цієї можливості, то її можна переобладнати, що буде коштувати кілька тисяч доларів. Вартість сівалки для диференційованого посіву буде в середньому на 25...30% вище аналогічної сівалки, не адаптованої до диференційованого посіву. Різницю у вартості складе ціна механізмів управління висівними апаратами. Але якщо сівалка спочатку купувалася з електроприводом, то різниця в ціні може бути менше 10% (вартість головної керуючої одиниці з

GPS) [70]. Однак купувати нові машини європейських або американських виробників досить дорого, а окупитися така інвестиція зможе не раніше, ніж через 5...7 років [167].

Виробники все ж замислюються про те, як модернізувати наявний парк машин, але переобладнання тільки однієї сівалки обходиться в десятки тисяч доларів. Наприклад, витрати на переобладнання 24-х рядної сівалки під реалізацію автоматичного відключення секцій і контролю висіву насіння, становлять близько 15 тис. доларів. При економії (6...16) доларів на гектар тільки на посівному матеріалі витрати на модернізацію повернуться при посіві 1,0...2,5 тис. гектар. Витрати на переобладнання сівалки під реалізацію змінної норми висіву насіння складають близько 20 тис. доларів, згідно [202]. Аналогічні дані наводяться і в роботі [200]. Витрати на адаптацію машин до технології СТІЗ порівнянні з вартістю самих машин і навіть перевищувати її [86].

Отже, для зниження витрат і усунення недоліків і труднощів, що виникають у процесі адаптації посівних машин до апаратного та програмного забезпечення СТІЗ, необхідні пошук та розробка нових конструктивних рішень, як засобів механізації, так і управляючих систем на основі впровадження та використання сучасних інформаційних технологій для отримання достатньо простих, універсальних і недорогих технічних засобів диференційованого висіву [10, 143 162, 175, 218, 223]. Це можливо на основі застосування нових концепцій вирішення поставленого завдання і розробки відповідного апаратно-програмного забезпечення [258].

1.8.4 Аналіз технічних засобів для реалізації диференційованого висіву зернових культур

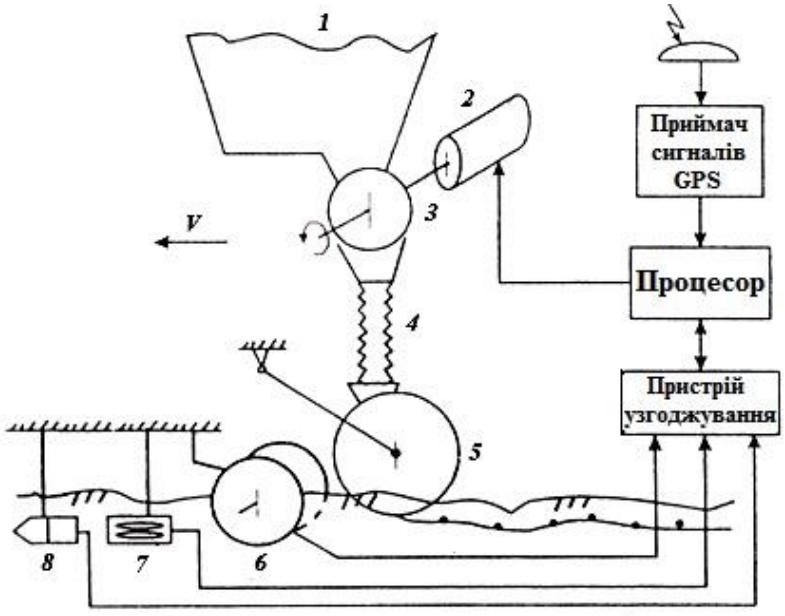
Сучасна посівна техніка значно відрізняється від своїх історичних попередників можливістю зміни норм висіву диференційовано і «на ходу», у відповідності з умовами функціонування. Це і є один з напрямків вдосконалення посівних машин [10, 276].

Світовий ринок вже пропонує значний вибір програмно-апаратних засобів реалізації технологій СТІЗ, які базуються на досягненнях

сільгоспмашинобудування та електроніки [281, 290]. У світі вироблені певні схеми таких засобів, наприклад, Amazone (Німеччина), Rawson, Мікго-Тгак System, Bourgault (США) та інші. Загальним для них є те, що опорне колесо сівалки втрачає функції механічного приводу висівних апаратів і приймає функцію одометричного датчика – пристрою контролю кінематичних і технологічних параметрів роботи посівного агрегату [10, 26].

Розглянемо існуючі і розроблювані варіанти машинної реалізації диференціювання норми висіву зернових культур.

Механічні висівні апарати і системи з реалізацією диференціювання норми висіву зернових культур. У висівній системі з котушковим апаратом (рис. 1.22) при диференційованому висіві процесор, у відповідності із закладеним програмним забезпеченням обробляє управляючий сигнал, який передається на виконавчий пристрій *2*, що представляє собою електричний мотор-редуктор. В цьому разі опорне колесо посівної машини виконує функції генератора імпульсів швидкості переміщення посівної машини і пройденого шляху, згідно [10, 50].



1 – ємність для матеріалів; *2* – виконавчий пристрій;

3 – висівний апарат; *4* – насіннєпровід; *5* – сошник;

6, 7, 8 – датчики фізико-технологічного стану ділянки поля

Рисунок 1.22 – Схема диференційованого висіву на основі потокового регулювання котушкових висівних апаратів *(розроблено в [10], с. 72)*

Одним із способів реалізації схеми, відображеної на рис. 1.22, є пристрій для посіву зі змінною нормою [209], який включає в себе висівну котушку, встановлену на висівному валу з механізмом його переміщення за допомогою гвинтової передачі. Для зміни норми висіву, залежно від зовнішніх умов, пристрій обладнано надвисокочастотним вологоміром, блоком автоматичної установки норми висіву і електрично пов'язаних з його входом датчиком довжини робочої частини висівної котушки, а механізм переміщення висівного валу оснащений проміжним валом з кулачковою муфтою, другою гвинтовою передачею та реверсивним електродвигуном. Технічні рішення щодо котушкових висівних апаратів розглянуто також в описах патентів на корисну модель [9, 185]. Запропонована схема дозволяє виконати диференціальний висів котушково-штифтовим висівним апаратом при виконанні технологічної операції для забезпечення оптимальної площі живлення рослин з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриву.

Розробка системи автоматизованого управління (САУ), змінними нормами висіву зернових культур на базі сівалки СЗ-3,6 (рис. 1.23), при сівбі по технології точного землеробства, розглядається в роботах [12, 146, 147, 248].

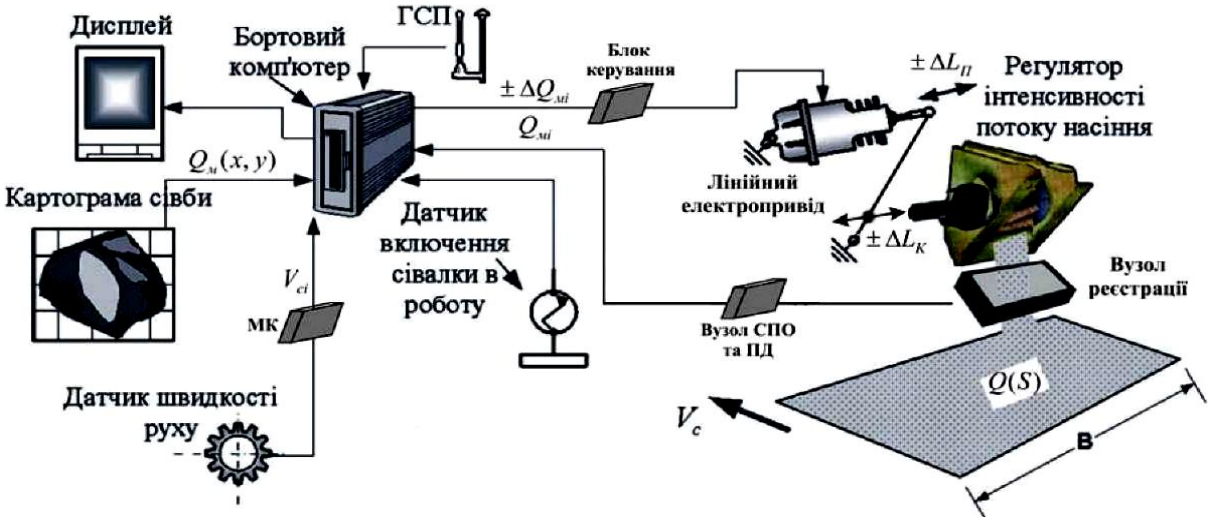


Рисунок 1.23 – Загальна структура САУ процесом висіву при точному землеробстві на базі сівалки СЗ-3,6 *(розроблено в [146], с. 332)*

Апаратна частина САУ включає: бортовий комп'ютер з дисплеєм; ГСП-приймач; технологічну карту-завдання змінних норм висіву на електронному носії (картограму посіву); датчик швидкості руху сівалки; датчик включення

сівалки в роботу; систему комп'ютерної ідентифікації зернового потоку, лінійний електропривод з блоком управління і важелем подачі валу висівних апаратів сівалки. Функції блоку обробки вхідних даних і формування поточних значень щільності розподілу насіння передаються на бортовий комп'ютер. В цілому, описаний комплекс являє собою замкнуту динамічну САУ.

Згідно роботи [50], на рис. 1.24 представлено схему обладнання для управління нормою висіву зернової сівалки з котушковими висівними апаратами. Основу обладнання складають бортовий (*БК*) та робочий (*РК*) комп'ютери, що зв'язані між собою через інтерфейс *RS485*. Живлення обладнання відбувається від бортової мережі МТА напругою 12 вольт. *БК* має слот для установки змінної карти пам'яті (типу PC Card) на якій записана в електронному вигляді картограма сівби для конкретного поля. На внутрішню пам'ять *БК* записані операційна система, *BIOS* (система вводу-виводу інформації"), спеціалізоване програмне забезпечення та бази даних з техніко-експлуатаційних параметрів посівних машини та фізико-механічних параметрів технологічних матеріалів. До складу обладнання входить система ГСП, а також датчик режиму роботи сівалки і датчик швидкості руху МТА.

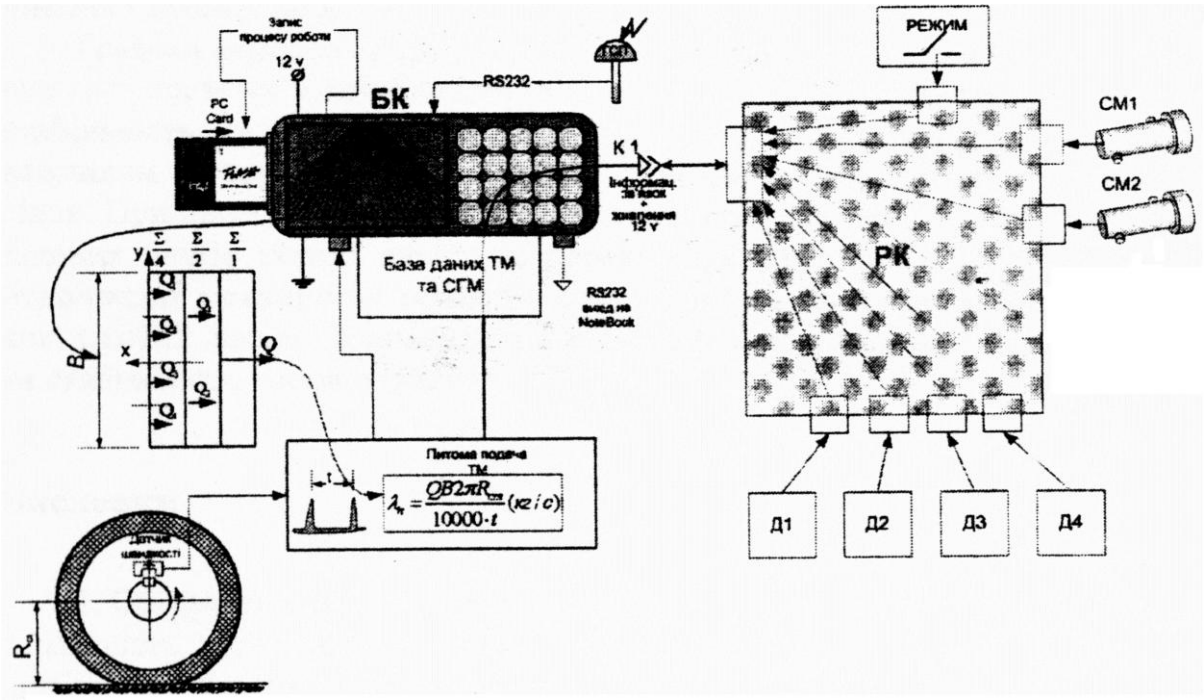
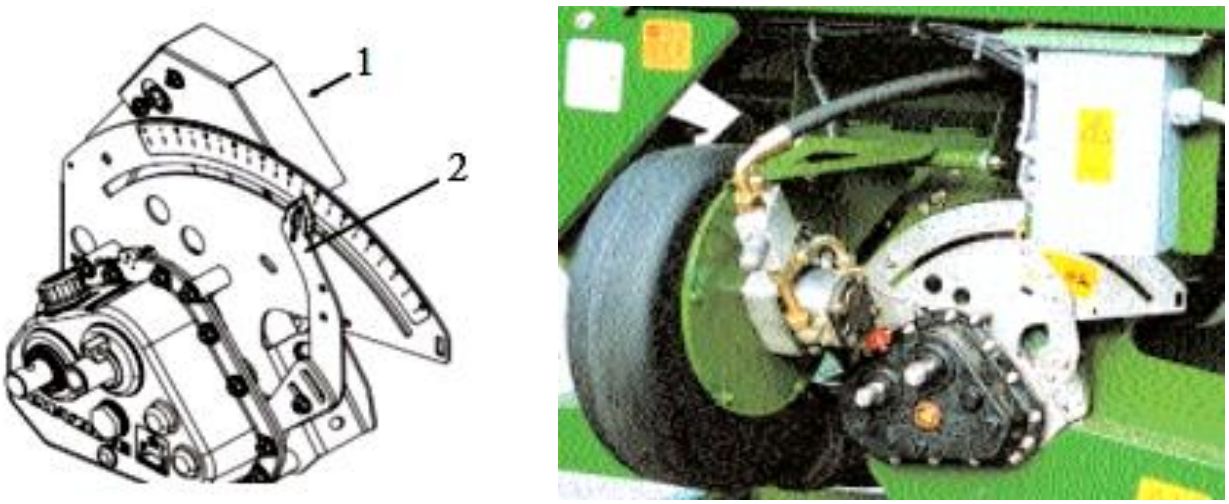


Рисунок 1.24 – Схема обладнання для керування нормою висіву зернової сівалки (позначення в тексті) *(розроблено в [50], с. 15)*

Сервомеханізм *СМ 1* керує швидкістю обертання вала котушок висівних апаратів, а *СМ 2*- величиною робочої довжини котушок. Передбачено підключення датчиків *Д 1…Д 4* при роботі в режимі "сенсор-технологія", а також підключення переносного комп'ютера через додатковий порт *RS 232* для проведення тестових та контрольних операцій на стадіях підготовки експериментів.

Коли датчик «РЕЖИМ» знаходиться в положенні "робочий процес", датчик координат ГСП приймає навігаційну інформацію, обчислює поточні координати МТА і передає їх на *БК*. Останній знаходить по електронній картограмі задану величину норми сівби для даної точки поля і передає сигнал керування на *РК*. *РК* обслуговує силові ланцюги керування сервомеханізмами *СМ 1* та *СМ 2*. Датчики зворотного зв'язку цих механізмів надають через інтерфейс *RS 232* інформацію про поточний стан керованих елементів. Важливою особливістю розробленого обладнання є наявність опції запису всіх поточних параметрів технологічного процесу, що виконується, а саме: величини поточної норми сівби, загальної маси висіяного насіння, засіяної площі, часу роботи, робочої швидкості, тощо.

Німецька фірма «Amazone» пропонує пневмомеханічні висівні апарати і системи з реалізацією диференційованого висіву зернових культур в сівалках AD-P Special на основі системи Amatron^{+} (рис. 1.25), згідно [174].



а *б*

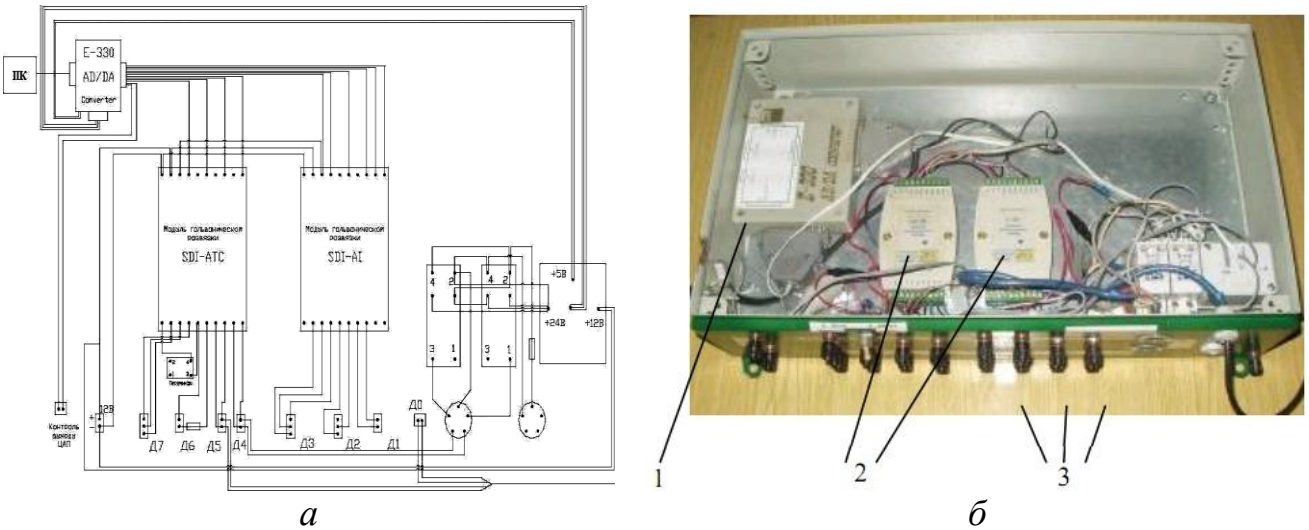
1 – серводвигун; *2* – важіль редуктора

Рисунок 1.25 – Схема (*а*) і загальний вигляд (*б*) безступінчатого редуктора зміни норми висіву сівалок AD-P Special *(розроблено в [174], с. 59–60)*

На підставі значень, отриманих при визначенні норми висіву, Amatron+ обчислює необхідне положення важеля редуктора *2*, який автоматично встановлюється серводвигуном *1*, а дисплей Amatron+ відображає встановлене положення важеля. Коли безступінчастий редуктор відсутній, вал висівних апаратів приводиться в рух електродвигуном [174]. Частота обертання електродвигуна залежить від швидкості руху і необхідної норми висіву.

В роботах [12, 165, 286] запропоновані програмно-апаратні комплекси технічних засобів для реалізації змінних норм висіву, які включають в себе антену супутникової навігації, робочий комп'ютер, електроциліндр, датчики зворотного зв'язку і швидкості. У робочий комп'ютер встановлюється флеш-карта з картограмою – завданням на необхідну норму висіву, а система супутникової навігації надає координати знаходження агрегату в полі. Система працює наступним чином: при переміщенні МТА по поверхні поля робочий комп'ютер отримує сигнал від супутників GPS і у відповідності з параметрами стану поля, через електродвигун приводу контролює частоту обертання шнекового дозатора, що регулює норму висіву.

Основною складовою такої системи для реалізації змінної норми висіву є блок управління висівним апаратом (рис. 1.26).



а *б*

1 – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП); *2* – узгоджувальні пристрої; *3* – виходи датчиків

Рисунок 1.26 – Схема блоку управління висівним апаратом (*а*) і загальний вигляд блоку управління (*б*) *(розроблено в [165], с. 79)*

Для реалізації місцевизначеного посіву передбачено використання датчиків контролю за виконанням технологічного процесу. Датчики з'єднуються з бортовим комп'ютером через узгоджувальні пристрої *2*. Основним призначенням узгоджувального пристрою є гальванічна розв'язка виходу датчика з входом бортового комп'ютера і приведення електричних параметрів сигналу від датчика до нормованого рівня.

Важливим елементом електронного блоку управління технологічним процесом є цифро-аналоговий перетворювач *1*, який служить для передавання внутрішніх даних між блоками бортового комп'ютера, а також для виведення сигналу управління серводвигуном в аналоговому вигляді на контрольну точку сервісного обслуговування процесорного блоку.

Система працює наступним чином (рис. 1.27): радіосигнал від супутників через приймач GPS-сигналів надходить до бортового комп'ютера, який відповідно до картограми посіву подає сигнал на блок керування нормою висіву, що обробляє цей сигнал, і з допомогою пристроїв регулювання задає необхідну норму висіву.

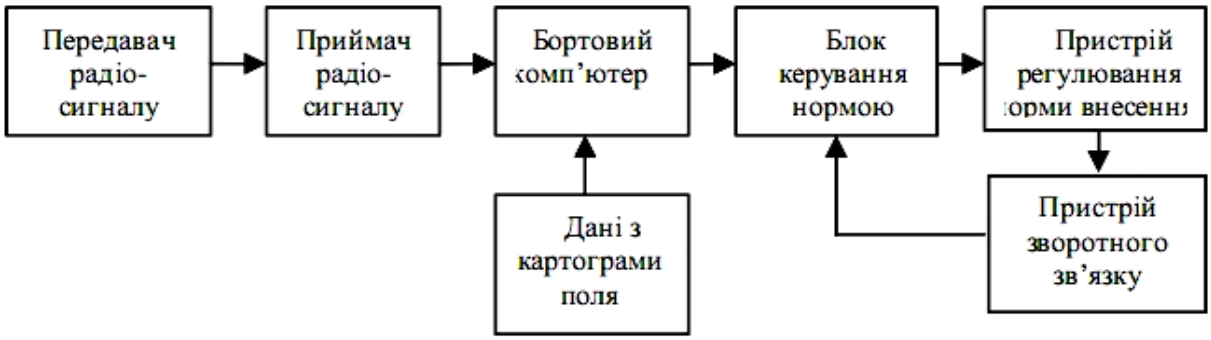


Рисунок 1.27 – Схема роботи системи управління нормою висіву

(розроблено в [165], с.81)

Управління інтенсивністю потоку насіння здійснюється механізмом дозування. Частота обертання дозатора забезпечується серводвигуном і контролюється датчиком зворотного зв'язку і регулятором.

Диференційований висів насіння може здійснюватися на основі системи контролю висіву Raven Omniseed [203]. Система являє собою спеціально розроблений гідравлічний мотор-редуктор (рис. 1.28), що встановлюється на вал висівних апаратів сівалки або інші приводні вали і замінює приводні колеса. Діапазон частоти обертання приводу плавно настроюється в діапазоні 1...125 об/хв.



Рисунок 1.28 – Гідроелектричний мотор-редуктор *(розроблено в [233])*

Гідравлічний мотор-редуктор обладнаний інтегрованим датчиком частоти обертання, який керує процесом висіву по окремих рядках або секціях, з можливістю повного відключення. При цьому висів здійснюється із змінною щільністю, керований як вручну, так і на основі карток посіву, згідно [204].

Реалізація технології змінного посіву може здійснюватися також на основі гідравлічного приводу виробництва фірми Ag Leader Technology & Brunswick CVA, на основі пристрою автоматичного контролю проходів, яке відключає праву або ліву сторони сівалки згідно з картою поля (рис. 1.29, *а, б*) [70].

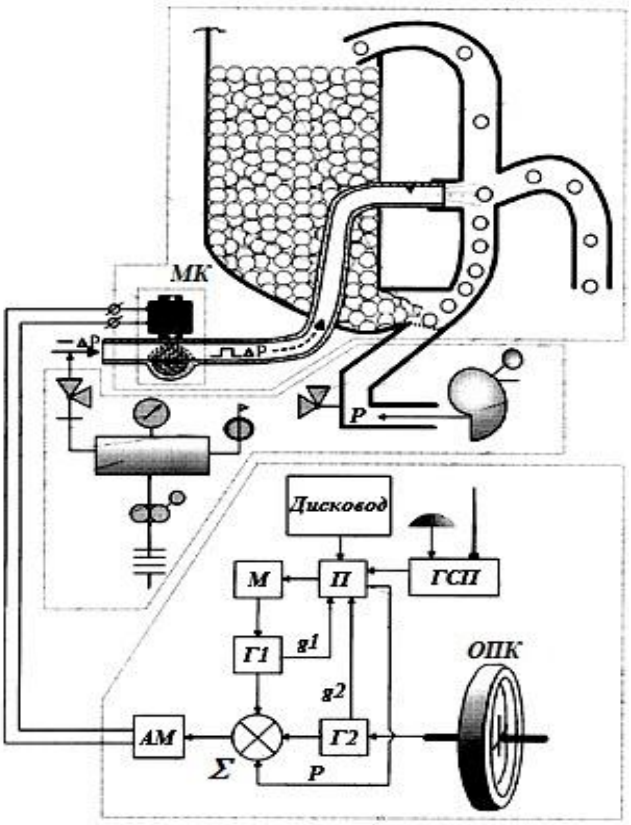


а *б*

Рисунок 1.29 – Регулювання норми висіву: звичайне (*а*); автоматичне (*б*), гідроприводом Ag Leader Technology & Brunswick CVA *(розроблено в [70])*

Таким чином, розглянутими технічними засобами реалізується автоматичне регулювання норми висіву, виходячи з вологозабезпеченості, вологоутримуючої здатності та продуктивності ґрунту. Як наслідок, при цьому має місце економія посівного матеріалу, добрив, підвищення урожаю та поліпшення його якості.

Розглянемо імпульсні і вібродискретні висівні системи з реалізацією диференціювання норми висіву зернових культур. Аналіз висівних систем показує, що найбільш повно вимогам диференційованого висіву відповідають системи, побудовані на електромагнітних принципах управління виконавчим дискретним механізмом [186]. На рис. 1.30 показана схема пневматичної висівної системи зернової сівалки імпульсної дії для технологій змінних норм висіву, згідно [11, 44, 256].



М - модулятор; *П* - процесор; *ГСП* – глобальна система позиціонування; $Г_1$, $Г_2$ - генератори; g_1, g_2 – ланцюги зворотного зв′язку; *Р* – повітря під тиском; *АМ* – багатоканальний підсилювач; *ОПК* – опорно-приводне колесо; *МК* – магнітний клапан; Σ – суматор

Рисунок 1.30 **–** Схема висівної системи сівалки для точного землеробства *(розроблено в [44], с. 4)*

Можна бачити, що сівалка містить мікропроцесорну систему формування управляючих імпульсних сигналів, пневматичні апарати, які складаються з бункерів для насіння, забірних камер, робочих камер, насіннєпроводів і повітряпроводів, приєднаних до висівних апаратів, пневматичну систему

приведення в дію висівних апаратів, пов'язану з ними. При цьому в мікропроцесорній системі формування імпульсів є два незалежних генератора імпульсів $Г_1$ і $Г_2$, а також багатоканальний підсилювач мікропроцесорної системи *АМ*, з кількістю каналів підсилення, відповідним кількістю висівних апаратів. Висівна система може працювати в режимах "Звичайний" і "ГСП". Останній режим призначений для технологій точного землеробства.

Така пневматична висівна система з імпульсними висівними апаратами і з мікропроцесорним управлінням дозволяє забезпечити програмовані змінні норми висіву насіння з можливістю оперативного регулювання норми висіву на ходу, під час роботи сівалки, в напрямку її руху, а також у поперечному напрямку - по ширині захвату, відповідно з місцевизначеними даними про характеристики параметрів стану поля, спростити конструкцію висівної системи за рахунок зменшення кількості рухомих механічних елементів, а також знизити пошкодження насіння. Останнє забезпечується тим, що в конструкції висівних апаратів запропонованої висівної системи відсутні механічні рухомі робочі елементи, які контактують з посівним матеріалом, і це виключає попадання насіння в зони механічного защемлення і стиснення. Підвищення універсальності висівної системи досягається застосуванням двох незалежних генераторів імпульсів, що дає можливість висівної системи працювати в режимах "Звичайний" і "ГСП". Запропонована висівна система дозволяє економити 10...25% посівного матеріалу і, за розрахунками, сприятиме підвищенню врожайності, в середньому на 5...7 ц/га.

Аналогічна конструкція пневмоімпульсного висівного апарата для сівалки точного землеробства запропонована в роботі [255].

В патентах на корисну модель [183, 184] розглядається конструкція сівалки для реалізації диференційованого висіву кожною секцією вібродискретного висівного апарату, для забезпечення підбору оптимальної площі живлення рослин, з урахуванням просторової неоднорідності ґрунту. Поставлене корисними моделями завдання диференціального висіву вирішується зміною конструкції сівалки з вібраційним висівним апаратом шляхом використання спеціального контролера, GPS-навігатора і пристрої зчитування електронних карток.

На рис. 1.31 зображено загальний вигляд посівної машини з вібраційним висівним апаратом для диференційованого висіву.

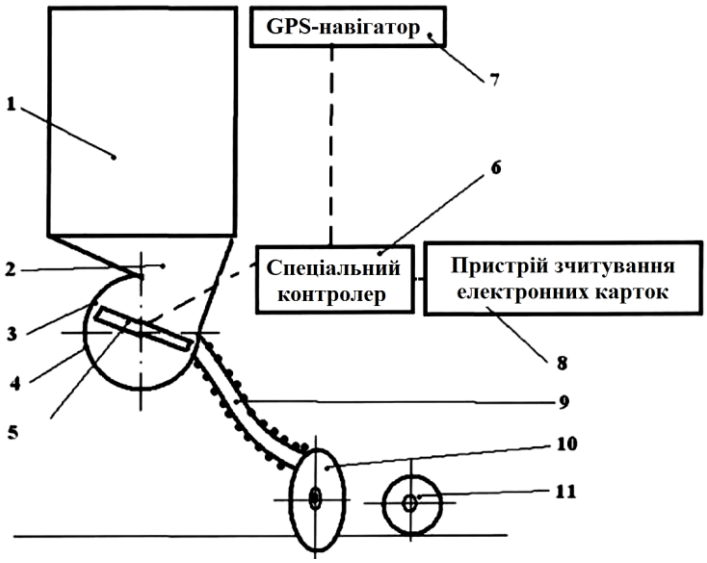


Рисунок 1.31 – Схема конструкції сівалки з вібраційним висівним апаратом для диференційованого висіву (позначення в тексті) *(розроблено в [183, 184], с. 2)*

Пристрій працює наступним чином: при русі сівалки насіння з висівного апарата *1* надходять до основи *2*, яке складається з висівного диска *3* і опори сферичної форми *4*, в якій розміщений проміжний диск *5*, частотою вібрації якого змінюється норма висіву.

Спеціальний контролер *6* синхронізує інформацію від *GPS*-навігатора *7* та пристрою зчитування електронних карток *8*, управляє диском *5*, встановлюючи задану норму висіву і забезпечуючи диференційований висів кожної секції вібраційного висівного апарата шляхом зміни норми висіву в ході виконання технологічного процесу. Після висівного апарату *2* насіння потрапляє в насіннєпроводи *9* і сошники *10*. Для забезпечення умов ефективного росту насіння використовуються прикочувальні котки *11*.

Крім розглянутих комплексів і систем, для диференційованого висіву зернових культур також пропонуються різні системи аналогічного призначення - пристрій для автоматичного регулювання технологічного процесу машини, пристрої управління дозуючою системою сівалки [79, 186, 187, 206, 208, 213], висівний апарат з регульованою дозуючою системою, представлений в роботі [158] и т.п. Застосування цих систем спрямовано на покращення експлуатаційних характеристик посівних агрегатів, підвищення швидкодії регулювання і точності дозування, скорочення строків посіву, підвищення врожайності висіяних культур.

1.8.5 Недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації зернових сівалок до диференційованого висіву в технологіях точного землеробства

При розгляді засобів реалізації диференційованого висіву зернових культур встановлено і систематизовано недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації існуючих машин до технологій СТІЗ:

- аналогова дія багатьох застосовуваних машин, на відміну від дискретної дії апаратно-програмного забезпечення СТІЗ, що вимагає застосування аналогово-цифрових перетворювачів;
- моральний знос машин, невідповідність технологічних укладів для виконавчих і командних пристроїв, тобто невідповідність їх технічного рівня;
- наявність розгалуженого кінематичного ланцюга з механічних передач, а, отже, інерційність спрацювання виконуючих пристроїв;
- різноманітність елементної бази, її недостатні універсальність та надійність;
- складність і дорожнеча пропонованих технічних рішень.

Показники ефективності щодо автоматизації та інформатизації процесу висіву, які входять до виразу (1.1), визначаються прогресом в області засобів автоматики. Передусім це здатність до виконання заданих функцій з мінімальними енерговитратами, максимальною надійністю і можливістю реалізації найбільшої кількості функціональних перетворень мінімальним числом структурних елементів, що характеризується показником функціонально-структурної інтеграції I^{FS}. Важливим є також показник розподілу функціонального навантаження I_g, що відображає сучасну тенденцію побудови машин нового покоління, яка полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних, згідно роботи [164].

1.9 Сутність проблеми ефективності роботи зернових сівалок, кількісне визначення показників ефективності та обґрунтування шляхів вирішення проблеми

Підводячи підсумок здійсненого аналізу, можна узагальнити існуючі ускладнення в розвитку та функціонування зернових сівалок:

- підвищена матеріаломісткість зернових сівалок, особливо з котушковими висівними апаратами, що часто перевищує рекомендовані значення, рівні 250...300 кг/м;

- підвищена енергоємність роботи зернових сівалок, особливо з ПЦВС, що часто перевищує рекомендовані значення, рівні 10...15 кВт/м;

- нерівномірність розподілу насіння по сошниках, яка перевищує агротехнічні вимоги і у сівалок з ПЦВС досягає 18%, що негативно впливає на врожайність;

- морально застарілий принцип дії, що ускладнює автоматизацію та інформатизацію робочого процесу;

- підвищення вартості машин та експлуатаційних витрат внаслідок вказаних чинників, що тягне за собою підвищення приведених витрат на посівні роботи.

Вказані чинники можна характеризувати як чинники умовно практичної спрямованості. Також існують чинники умовно теоретичного характеру, які можуть відображати ситуацію із станом розвитку посівних машин та передбачати шляхи та способи підвищення ефективності роботи сівалок:

- недостатньо досліджена динаміка значень показників конструкцій і роботи зернових сівалок, виходячи з аналізу якої, можна робити висновки щодо покращення показників та обґрунтування напрямів розвитку зернових сівалок;

- недостатньо обґрунтовані існуючі критерії ефективності роботи як посівних машин, так і СГТ в цілому;

- недостатньо досліджені і обґрунтовані показники автоматизації та інформатизації процесу висіву.

Сутність проблеми функціонування зернових сівалок схематично представлено на рис. 1.32.

Визначимо склад чинників, критеріїв і коефіцієнтів, якими може бути кількісно описана проблема ефективності роботи зернових сівалок.

Ефективність конструкцій і роботи зернових сівалок визначаються розглянутими в п. 1.1...1.8 кількісними показниками ефективності, а вираз (1.1) у кількісному виразі зводиться до вигляду комплексу цих показників:

$$E_{рс} = f\left(\begin{matrix} H, H_в, V,\ W_m\ , \nu, B, m_{пит}, m_к, p_{пит}, \\ E_c, E_{вс}, \eta_{вс}, П_в, k_е, k_{тр}, I^{FS}, I_g \end{matrix}\right). \qquad (1.9)$$

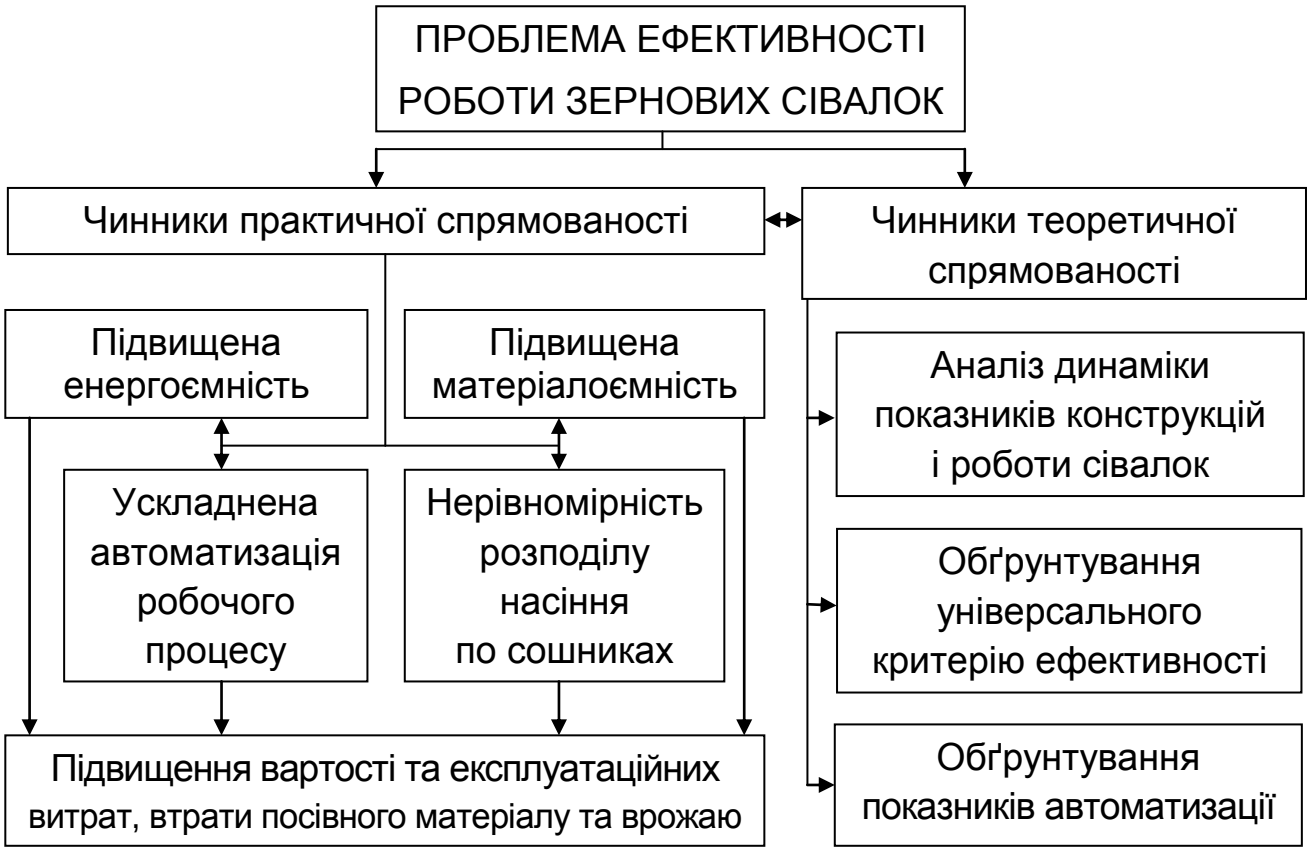


Рисунок 1.32 – Схема чинників, що визначають проблему ефективності роботи зернових сівалок *(розроблено автором)*

Представлені показники є сенс згрупувати, виходячи з їх значення та змісту, та представити вираз 1.9 у вигляді комплексу-системи з підсистемами:

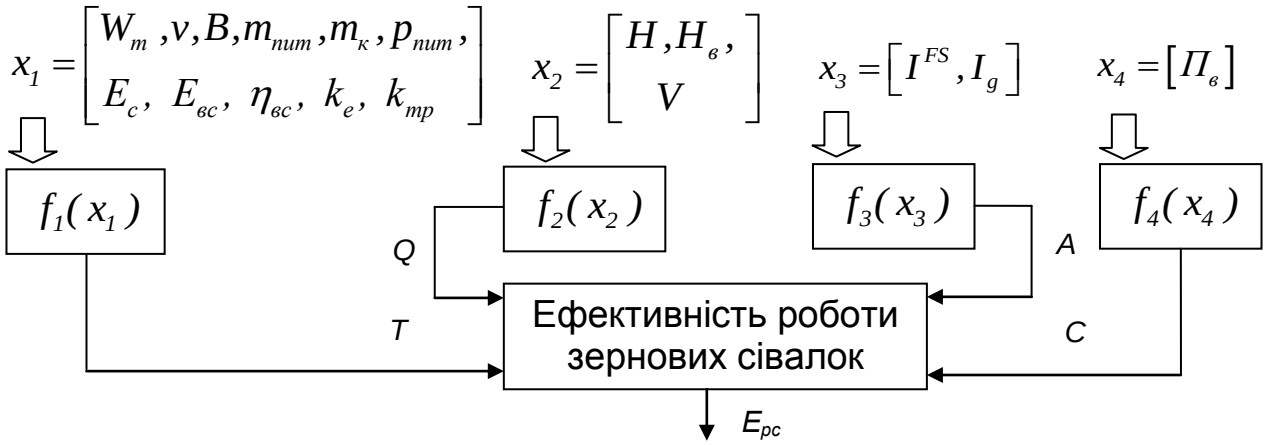
$$E_{pc} = f\left(\begin{array}{l} C = f(П_в);\ Q = f(H, H_в, V);\\ T = f\left(\begin{array}{l} W_m, v, B, m_{пит},\\ m_к, p_{пит}, E_c,\\ E_{вс}, \eta_{вс}, k_e, k_{тр} \end{array}\right);\ A = f(I^{FS}, I_g) \end{array}\right), \qquad (1.10)$$

де *C, Q, T, A (costly, quality, technical, automation)* – показники підсистем.

Показники підсистеми *C* визначають витрати праці та коштів, які можна виразити в грошових одиницях (економічні показники, визначаються розрахунками на основі здійснених досліджень). Показники підсистеми *Q* визначають якість роботи, або якість висіву і зазвичай виражаються у відсотках (якісні показники, визначаються експериментально для розроблених висівних пристроїв). Показники підсистеми *T* визначають техніко-експлуатаційний рівень системи і виражаються у

фізико-технічних одиницях (техніко-технологічні показники, визначаються теоретично із залученням експериментальних даних). Показники підсистеми *A* визначають рівень автоматизації та інформатизації роботи системи і можуть бути виражені у безрозмірних величинах (показники автоматизації і управління, визначаються теоретично для створення нових систем управління на цій основі).

Таким чином, перетворення слабо структурованої проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок на більш структуровану, або формалізація проблеми (вираз 1.10), по структурі комплексу підсистем показників відповідає вимогам, за якими оцінюється ефективність діяльності будь якої технічної системи [230]. Тому рис. 1.1 можна представити у вигляді структурної схеми (рис. 1.33):



T – підсистема техніко-експлуатаційних показників; *Q* – підсистема показників якості; *A* – підсистема показників автоматизації і управління; *C* – підсистема економічних показників; $x_1 \ldots x_4$ – комплекси показників ефективності

Рисунок 1.33 – Структурна схема системного комплексу показників, що визначають ефективність роботи зернових сівалок *(розроблено автором)*

Підвищити ефективність роботи зернових сівалок означає знайти шляхи і способи визначення та покращення показників, представлених у виразах (1.9) і (1.10) та на рис. 1.33. Тому подальші дослідження спрямовані на аналіз динаміки зміни і розвитку критеріїв та показників у виразі (1.10), а також на дослідження можливих шляхів і способів їх визначення та покращення.

Виходячи з аналізу та формалізації проблеми, виявлено, що вона має системний, комплексний і взаємозалежний характер, а тому її розв'язок слід

здійснювати системними методами, тобто на основі системного підходу. Для цього необхідно розробити наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок, тобто запропонувати методологію обґрунтування найбільш оптимального рішення вказаної комплексної проблеми на основі системного підходу.

У цьому відношенні відомі роботи Д. Н. Раднаєва [261-263], стосовні методологічних основ розробки технологій та технічних засобів при вирощуванні зернових культур, де автор вирішує поставлену проблему досягнення максимальної ефективності використання таких технічних засобів на основі системного підходу.

Але запропонована в роботах Д. Н. Раднаєва методологія не враховує питань керованості, автоматизації і інформатизації робочого процесу зернових сівалок, що є дуже актуальним відносно ефективності роботи СГТ взагалі. Також дослідження ефективності у даних роботах не розглядають часову динаміку розвитку технічних засобів, не враховують теоретичної основи оцінки ефективності, тобто теорії ефективності, а запропонований узагальнений показник ефективності (вираз 1.8) не має фізичного змісту, що не пов'язує його з природничо-науковою стороною робочих процесів і не дає змоги моделювати і визначити шляхи покращення ефективності, виходячи з фундаментальних фізичних основ, а також системно зв'язати ефективність роботи інших технічних засобів та систем на цій фундаментальній фізичній основі для знаходження системоутворюючих залежностей щодо оцінки ефективності роботи СГТ.

Також, зокрема, взагалі немає систематизованих досліджень з енергоємності роботи висівних систем.

Одними з методів системного підходу є аналіз та синтез. У даному випадку аналіз та його методики є сенс застосувати для дослідження чинників умовно теоретичної спрямованості, а синтез є сенс застосувати для дослідження чинників умовно практичної спрямованості (рис. 1.32).

Виходячи зі змісту синтезу, необхідно здійснити процес створення функцій і структур, задовольняючих вимогам, які пред'являються до ефективності функціонування системи, що представляє зернову сівалку.

Згідно роботі [130], конструкція сівалок та якість виконуваних ними посівних робіт визначаються роботою висівного апарату. Тому необхідно, насамперед, визначитися із застосовуваним в зерновій сівалці принципом дії висівного пристрою. Згідно роботі [270], якісно провести посів і адаптувати його до вимог автоматизації та інформатизації можна лише апаратами пневмомеханічного типу. Це може бути основою для синтезу механічних котушкових висівних апаратів та ПЦВС, а також компонувальних схем сівалок на основі таких висівних пристроїв з метою компенсації їх недоліків. Також виходячи зі зробленого аналізу застосовуваних висівних пристроїв, доречним є застосування в них вепольного дискретного принципу дії, що характеризується невеликою енергоємністю.

Висунутим умовам найбільш відповідає пневматичний дискретний принцип дії, заснований на застосуванні елементів пневмоніки, з можливістю створення як пневматичних, так і пневмомеханічних конструкцій висівних апаратів, з дискретною синхронізацією та пневмотранспортуванням насіння до сошнику, з порівняно невеликою енергоємністю робочого процесу. Все це дозволить встановлювати розроблені висівні пристрої на сівалках з роздільно-агрегатною компонувальною схемою групового висіву зі зниженою металоємністю та ефективніше автоматизувати їх робочий процес.

Висновки по першому розділу. Мета і завдання досліджень

Проведений аналіз стану проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок і методів її вирішення, а також кількісний вигляд комплексу показників (вирази 1.9, 1.10) дають можливість зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається наступними поняттями та категоріями: «показники ефективності», «критерій ефективності», «оптимальна система», «системний підхід і аналіз», «синтез».

2. Встановлено, що в даний час сівба багатьох культур виконується недосконалими посівними машинами, які є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає багатьом сучасним вимогам, допускає до 10...30% перевитрати насіння та його пошкодження. Незважаючи на те, що показники рівномірності висіву і розподілу насіння зерновими сівалками не

мають достатнього агротехнічного обґрунтування і визначаються біологічними особливостями посівного матеріалу, існуючі висівні системи мають підвищену нерівномірність розподілу насіння по сошниках. Тому при дослідженні і розробці нових висівних пристроїв доцільно забезпечити відповідність агротехнічним вимогам значень показників якості висіву, але при цьому необхідно покращувати значення даних показників, зокрема за рахунок усунення пульсації потоків насіння, обумовлених нерівномірністю їх дозування і переміщення в насіннєпроводах

3. Виявлено, що в даний час для підвищення продуктивності посівних МТА перспективним є інтенсивний напрямок, заснований на підвищення швидкості руху до 15 км/год і вище. При цьому необхідно забезпечити зниження енерговитрат, пов'язаних з підвищенням швидкості, що можливо на основі застосування нових робочих органів зернових сівалок, з оптимізованим енергоспоживанням.

4. Встановлено, що матеріаломісткість зернових сівалок має тенденцію до підвищення через зростання ширини захвату, що є наслідком даного екстенсивного способу підвищення продуктивності і тягне за собою непропорційне підвищення тягового опору, а також зниження віддачі виробничих фондів. В даний час матеріаломісткість зернових сівалок часто перевищує рекомендовані значення, рівні 250...300 кг/м. Тому для покращення даних показників необхідно підвищувати швидкість руху і застосовувати нові поєднання перспективних висівних систем з конструктивно-компонувальними схемами посівних машин.

5. Показано, що посів є однією з ресурсомістких операцій, тому зниження витрат на його виконання має велике значення. Проте в даний час має місце зростання енерго- та машиноємкості виробництва, зниження ККД систем "виробництво - техніка - технологія", а також відставання росту продуктивності посівних площ. Надбавка кожного відсотка продукції досягається збільшенням енерговитрат на 2,5...3,6%, а зростання врожайності в 2...3 рази супроводжується зростанням витрат енергії в 10...15 разів на одиницю продукції. Середня енергоємність технологічних процесів, які виконуються вітчизняними сільгоспмашинами, в 1,5...2,5 рази більше, ніж у їхніх закордонних аналогів. Зокрема, в даний час енергоємність роботи зернових сівалок перевищує необхідну і рівну 10...15 кВт/м, що пояснюється екстенсивним шляхом виробництва та експлуатації технічних засобів.

6. Виявлено, що в даний час значимість набуває розробка критеріїв, що дають визначення – якому напрямку відповідають поновлювані і новостворювані машини: екстенсивному чи інтенсивному. Встановлено, що більшість економічних та технічних критеріїв ефективності роботи машин є різновидами загального співвідношення між витратами і ефективністю, що є загальною підставою для розгляду, пошуку і встановлення нових критеріїв ефективності.

7. Встановлена невідповідність традиційної посівної техніки сучасним вимогам, що обумовлює необхідність пошуку і вдосконалення нових видів висівних апаратів і систем з іншими принципами роботи. При цьому необхідно підвищувати технічний рівень висівних пристроїв, що виражається відношенням їх коефіцієнта корисної дії до енергоємності. Тому в даний час актуальним є питання розробки та впровадження у виробництво принципово нових видів посівної техніки з мінімальною енергетикою виробництва і експлуатації, і з автоматизацією робочого процесу.

8. Встановлено, що у даний час має місце вепольний розвиток висівних пристроїв посівних машин. У вепольних системах розвиток іде в напрямку переходу від механічних полів до імпульсних і електромагнітних, збільшення дисперсності речовин і кількості зв'язків між елементами, що відповідає тенденції, згідно якої імпульсні та електромагнітні поля отримують поширення в техніці АПК.

9. Системний аналіз конструкцій і роботи висівних апаратів і систем дозволив встановити, що одним із напрямків підвищення ефективності технологічного процесу висіву є його принципова структурна зміна на основі застосування дискретного принципу дії пневматичних дозуючих елементів або висівних апаратів, пов'язаних гнучкою дискретною синхронізацією з переміщенням посівної машини. Дискретний принцип дії висівних апаратів і систем дозволяє більш легко і ефективно здійснювати автоматизацію робочого процесу, на відміну від аналогового принципу дії інших висівних пристроїв. Для цього необхідно реалізувати крокове алгоритмізоване функціонування робочого органу (висівного апарата) з відбором, транспортуванням і подачею насіння.

10. Встановлено, що оскільки існуючі можливості підвищення продуктивності шляхом збільшення ширини захвату практично вичерпані, то все більшого значення

набуває впровадження інтелектуальних і автоматизованих систем, роботизації, широке застосування електроніки та систем точного інформаційного землеробства, а також впровадження нових робочих органів. Значні витрати на вдосконалення функціональних можливостей механічних систем вже себе не виправдовують, при цьому очевидно істотне уповільнення темпів зростання основних технічних характеристик і функціональних можливостей техніки. Застосування електроніки дозволяє розширити і посилити функціональні можливості механічних систем і призводить до створення машин з новими технологічними можливостями.

11. Виявлено, що впровадження у виробництво диференційованого висіву стримується низкою причин. Серед них можна виділити соціально-економічні, агрономічні та механіко-технологічні. Диференційований висів стримується недоліком наукових досліджень і розробок, залишається невирішеним питання створення і застосування порівняно простих, дешевих і надійних у використанні засобів технічної реалізації запропонованих потокових диференційованих агротехнологічних впливів.

12. Встановлено, що для подолання об'єктивно виникаючих причин зниження ефективності роботи зернових сівалок необхідно створити умови для переходу на новий рівень розвитку. Це може бути забезпечено за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, компонувально-технологічних схем і параметрів машин. Тому потрібен пошук і дослідження комплексу принципово нових технологічних і технічних рішень, заснованих на сучасних досягненнях науки і техніки.

Враховуючи зазначене, метою дисертаційної роботи є розробка наукових основ підвищення ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії на основі елементів пневмоніки.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні завдання досліджень:

- на основі аналізу стану проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок встановити чинники ефективності, формалізувати їх у вигляді

комплексу показників, обґрунтувати методологічну основу їх покращення і визначити напрям оптимального вирішення проблеми;

- дослідити закономірності динаміки зміни значень показників ефективності, що характеризують конструкції та робочий процес зернових сівалок та з'ясувати напрями удосконалення, розробки і застосування зернових сівалок;

- на основі аналізу отриманих даних зміни значень показників ефективності та загального співвідношення між витратами і ефективністю запропонувати і обґрунтувати комплексний критерій ефективності, визначити його фізичний зміст і чисельні значення для зернових сівалок з різними висівними системами;

- здійснити функціонально-структурний аналіз і визначити розподіл функціонального навантаження в системах управління висівом, дослідити передачу механічної енергії струменями в силових струминних елементах для вдосконалення пневматичних висівних систем дискретної дії та визначити енергетичні характеристики їх роботи;

- обґрунтувати геометричні характеристики силових струминних елементів висівних апаратів, провести гідродинамічне імітаційне комп'ютерне моделювання силового елемента та стендове випробування оптимізованого силового струминного елемента і елемент-ежектора для отримання характеристик робочого процесу;

- удосконалити конструктивно-компонувальні схеми пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки для створення та подачі по сошниках вихідного потоку насіння в зернових сівалках, зробити вибір і обґрунтування апаратної платформи модуля управління висівом та розробити програмне забезпечення регулювання норми висіву;

- експериментально дослідити закономірності зміни показників, що характеризують процес висіву розробленими пневматичними апаратами і системами дискретної дії;

- встановити енергетичну і техніко-економічну ефективність застосування розроблених пневматичних висівних апаратів і пристроїв дискретної дії з елементами пневмоніки у порівнянні з іншими висівними апаратами і системами зернових сівалок.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ

2.1 Розробка структурної послідовності теоретичних досліджень показників ефективності зернових сівалок

Програма теоретичних досліджень показників ефективності зернових сівалок, висівних апаратів і систем передбачає вирішення трьох основних блоків завдань, згідно схеми структурної послідовності, відображеній на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурна послідовність теоретичних досліджень показників ефективності зернових сівалок і висівних систем (*джерело: розроблено автором*)

2.2 Обґрунтування гіпотези теоретичних досліджень показників ефективності

В роботах [20, 27, 47, 75, 83] встановлено, що найбільш характерною закономірністю, що описує життєвий цикл розвитку різних типів об'єктів і процесів, обумовлений багатьма складно взаємодіючими факторами на протязі великих інтервалів часу, є *S*-подібна (логістична) крива, яку доцільно розглядати у вигляді залежності між показниками експлуатаційно-економічної ефективності машин або виробничих процесів – ступенем підвищення технологічного ефекту, зростанням врожайності, продуктивністю машин і праці, зміною витрат та коштів, металу, енергії і такими факторами, як час, енергонасиченість, енерго- і фондоозброєність, капітальні вкладення.

Зазначена загальна закономірність вказує на необхідність врахування того факту, що багато механіко-технологічних і організаційних принципів, на яких побудовані машини або виробничі процеси, досягають у своєму розвитку значень показників ефективності, близьких до граничних.

Щоб подолати об'єктивно виникаючі причини зниження ефективності машин, необхідно створити умови для переходу на наступний рівень технічного прогресу. Це може бути забезпечено за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, компонувально-технологічних схем і базових параметрів машин [83, 172].

Тому висувається наступна гіпотеза теоретичних досліджень: життєвий цикл розвитку і показники ефективності конструкцій і застосування зернових сівалок, побудованих на традиційних механіко-технологічних і організаційних принципах, в даний час визначаються логістичної закономірністю, або *S*-подібною функцією. Поліпшення показників ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок можливе на основі зміни механіко-технологічних принципів дії висівних систем і компонувально-технологічних схем посівних машин.

Для кількісного підтвердження гіпотези теоретичних досліджень необхідно визначення динаміки і прогнозування значень комплексу показників, що

характеризують конструкції та робочий процес зернових сівалок, їх висівних апаратів і систем (розділ 1, вирази 1.9, 1.10), а також визначення актуальних напрямів підвищення ефективності розробки та застосування зернових сівалок на основі аналізу отриманих даних і виявлення характерних трендів і патернів.

Прогнозування за допомогою *S*-подібної функції дозволяє встановити невикористані можливості застосовуваного принципу дії. Якщо ці можливості мають резерви, то на основі прогнозування можна сформулювати напрямки поліпшення аналізованих показників ефективності. Якщо ж прогноз покаже, що можливості принципу дії вичерпані, то можна зробити обґрунтований висновок про перехід на нові принципи дії [42].

Для прогнозування розвитку посівних машин використовувалися дослідження і рекомендації, представлені в літературі [22, 25, 33, 55, 68].

2.3 Вибір методів і методик аналізу показників ефективності в теоретичних дослідженнях

В даний час для виявлення та опису закономірностей у складних явищах і процесах при системному аналізі використовуються технології інтелектуального аналізу даних. Це процес визначення нових, потенційно корисних знань і закономірностей на основі великих масивів даних [177]. Завданням інтелектуального аналізу даних є ефективне вилучення неочевидних, але осмислених, об'єктивних і корисних закономірностей з наявного масиву даних.

У літературі замість терміна «інтелектуальний аналіз даних» може використовуватися термін «Data Mining». Технологія Data Mining вирішує наступні завдання – класифікація, прогнозування, асоціація, кластеризація, виявлення і аналіз відхилень, аналіз зв'язків, оцінка та візуалізація. Основою для прогнозування служить історична інформація, що зберігається в базі даних у вигляді часових рядів (Time-Series Data Mining). Традиційно виділяються наступні етапи в процесі інтелектуального аналізу даних (алгоритм аналізу даних):

- вивчення предметної області, в результаті якого формулюються основні цілі аналізу (розділ 1) і збір даних (додатки Б, В, Д, Е, Ж);

- попередня обробка даних: «очищення» даних – вилучення суперечностей і випадкових "шумів" з вихідних даних; інтеграція даних – об'єднання даних з декількох можливих джерел в одній базі; перетворення даних до форми, придатної для аналізу;
- витяг даних: застосовуються алгоритми інтелектуального аналізу з метою отримання патернів (тобто залежностей та закономірностей, вилучених в результаті аналізу даних) і виявлення трендів;
- аналіз та інтерпретація знайдених патернів – етап може включати візуалізацію вилучених патернів, визначення з них корисних на основі деякої функції корисності або критерію ефективності

Результати застосування методів технології Data Mining значною мірою залежать від рівня підготовки даних, а не від можливостей якогось алгоритму або набору алгоритмів. Близько 75% роботи над Data Mining полягає в зборі даних, який відбувається ще до того, як запускаються самі інструменти [70, 128, 118, 177].

В даний час в Data Mining використовуються методи нечіткої логіки, нейронні мережі й еволюційні обчислення на основі генетичних алгоритмів.

Еволюційні обчислення - це термін, що відноситься до методів оптимізації систем, об'єднаних тим, що всі вони передбачають еволюцію об'єктів, що входять в систему [93]. З еволюційних обчислень найбільше поширення отримали генетичні алгоритми, які в теперішній час знаходять застосування також при оптимізації енергетичної ефективності МТА [173]

В даній дисертаційній роботі пропонується використовувати методи аналізу показників ефективності, засновані на генетичних алгоритмах (додаток А) і спрямовані на визначення та прогнозування розвитку показників ефективності використання зернових сівалок.

2.4 Закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з механічними висівними апаратами

Розглянемо процес розвитку технічного рівня сівалок з механічними висівними апаратами. При цьому поставлено завдання визначення показників

ефективності конструкцій та роботи посівних машин на основі розробки прогнозних моделей. З цією метою приймається припущення, що розвиток розглянутих показників ефективності відбувається еволюційним шляхом [2, 27, 73].

При побудові на цій основі прогнозних моделей важливо володіти достатнім числом ретроспективних даних, щоб охопити максимальну, досить представницьку область існування визначальної залежності [83].

Тому, згідно алгоритму (п. 2.3), першим етапом інтелектуального аналізу даних є збір ретроспективних даних. Ретроспективними даними є показники конструкцій і робочого процесу приблизно 200 моделей посівних машин з механічними висівними апаратами, які розробляються і випускаються протягом 100 років (1917…2017 роки).

Другим етапом аналізу даних є попередня обробка даних: інтеграція – об'єднання даних з декількох можливих джерел в одній базі (додатки Б, В) і перетворення їх до форми, придатної для аналізу. При цьому досліджуваний період часу дискретизовано на проміжки, рівні 10 років, протягом яких випускалися посівні машини визначеного технічного рівня або за певними стадіями розвитку [27, 119, 172], тобто за умовними етапами еволюції, що являє собою агрегацію даних:

- 1910-1920 – випуск посівних машин на кінній тязі;
- 1920-1930 – становлення вітчизняного машинобудування, поява посівних машин на тракторній тязі;
- 1930-1940 – довоєнний період, серійне виробництво сівалок на тракторній тязі, якісні зміни в процесі посіву;
- 1940-1950 – воєнний і післявоєнний періоди, поширення вузькорядного посіву зернових культур;
- 1950-1960 – науково-дослідні роботи, спрямовані на зміну конструкцій робочих органів, підвищення надійності посівних машин і розробку сімейства нових причіпних зернових сівалок;
- 1960-1970 – реалізація систем машин на 1961-1965 рр. і 1966-1970 рр., роботи зі створення навісних сівалок і впровадження їх у виробництво, підвищення діапазону робочих швидкостей до 9 км/год;

- 1970-1980 – перехід до комплексної механізації посівних робіт, підвищення робочих швидкостей до 10…12 км/год, суміщення операцій, гідрофікація сівалок та їх оснащення пневматичними колесами;

- 1980-1990 – автоматизація посівних машин і процесу висіву, інтенсифікація посівних робіт на основі подальшого зростання швидкості руху сівалок та їх агрегатування зі швидкісними тракторами, використання агрегатів без зчіпки, підняття рівня універсальності сівалок;

- 1990-2000 – поширення систем точного інформаційного землеробства і адаптація посівних машин до роботи в них.

В якості основних показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок, прийняті технологічні: теоретична швидкість руху, теоретична продуктивність, питома продуктивність, а також конструктивні: ширина захвату конструктивна маса, матеріаломісткість.

Середні значення показників по десятиліттях, на основі додатків Б і В, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок з механічними висівними апаратами

№ дес	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теор. продукт. $W_{ср,}$ га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит,}$ га/год×м	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Матеріало-місткість $m_{пит}$, т/м	Період виробн. машин, рр.
	Технологічні показники			Конструктиві показники			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,300	0,350	0,233	1,500	0,500	0,333	1910-і
2	2,300	0,350	0,233	1,500	0,500	0,333	1920-і
3	2,800	0,500	0,278	1,800	0,490	0,272	1930-і
4	4,614	1,370	0,462	2,743	0,768	0,285	1940-і
5	5,712	1,719	0,569	2,947	0,821	0,276	1950-і

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
6	6,492	1,875	0,645	2,812	0,806	0,273	1960-і
7	9,160	4,266	1,007	4,018	1,182	0,272	1970-і
8	11,493	5,170	1,152	4,449	1,359	0,329	1980-і
9	11,060	4,820	1,117	4,729	1,252	0,341	1990-і
10	11,102	5,861	1,105	5,133	1,882	0,416	2000-і

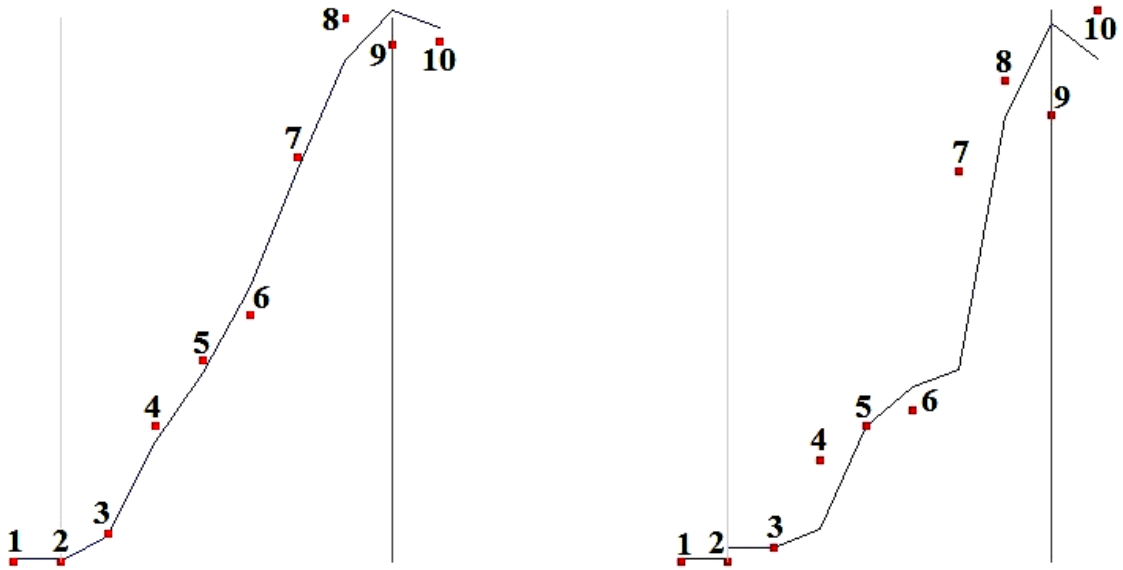
Для виявлення залежностей динаміки зміни показників застосовувалося розроблене програмне забезпечення «Еволюційне моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів» (код якого представлено в додатку А), куди завантажувався файл з сукупністю показників. В результаті роботи генетичних алгоритмів отримуються *S*-подібні функції, що відображають динаміку відповідного показника [12]. На рис. 2.2 представлено *S*-подібну функцію, що характеризує середню питому продуктивність W_{num}.



1...10 – періоди часу

Рисунок 2.2 – Результати обробки показника середньої питомої продуктивності W_{num} на основі еволюційних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів і вигляд його *S*-подібної функції (*джерело: розроблено в [12], с. 117*)

Вид *S*-подібних функцій, що характеризують зміну технологічних та конструктивних показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами за даними табл. 2.1, представлений на рис. 2.3 і 2.4.



а *б*

1...10 – періоди часу

Рисунок 2.3 – Вид *S*-подібних функцій, що характеризують динаміку зміни показників зернових сівалок з механічними апаратами: середньої швидкості V_{cp} (*а*) і середньої теоретичної продуктивності W_{cp} (*б*) (*джерело: розроблено автором*)

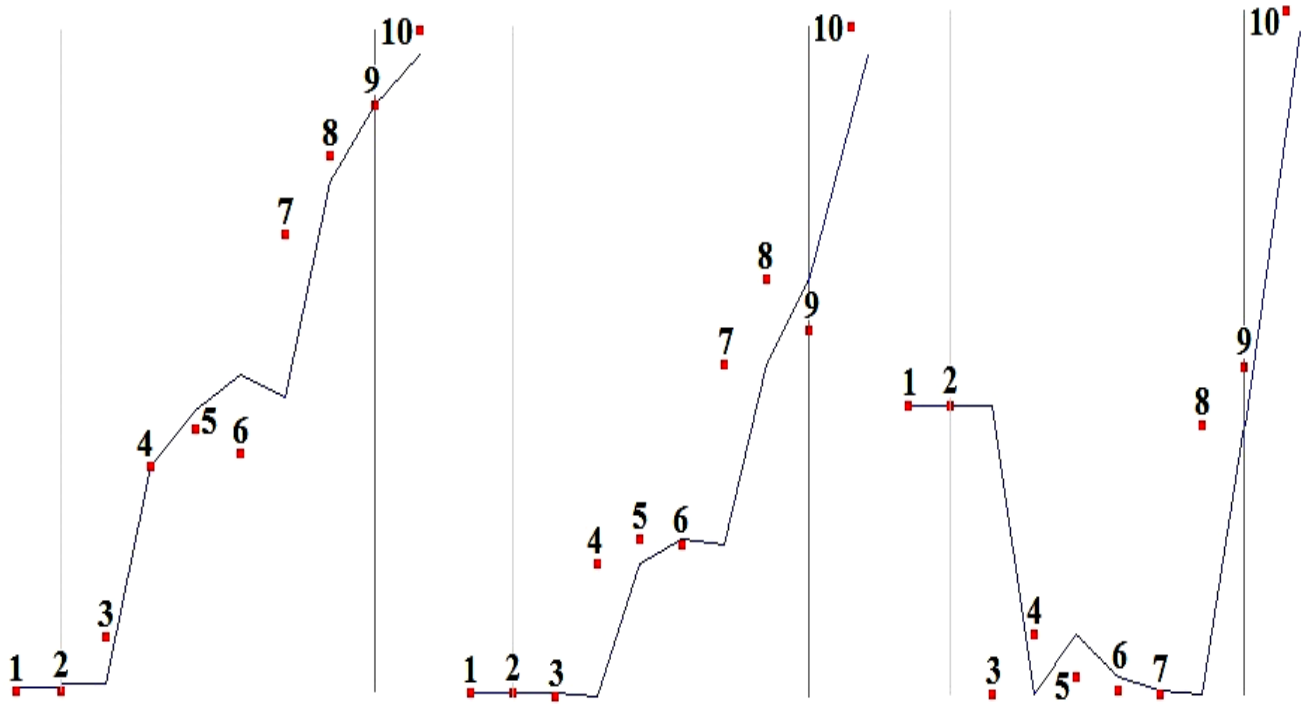
Зазначимо, що математичне відображення *S*-подібної функції або її апроксимуючий вираз не має принципового значення і може бути довільним [83]. Тому апроксимацією даних табл. 2.1, встановлено, що найбільш оптимальною залежністю зміни значень показників середньої швидкості V_{cp}, середньої теоретичної продуктивності W_{cp}, і середньої питомої продуктивності W_{num} від часу є рівняння кубічної регресії:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \tag{2.1}$$

де y – відповідний показник;

a, b, c, d – коефіцієнти рівняння кубічної регресії, які визначаються методом найменших квадратів (МНК) (табл. 2.2);

x - номер проміжку, відповідного періоду часу.



а *б* *в*

1...10 – періоди часу

Рисунок 2.4 – Вид *S*-подібних функцій, що характеризують динаміку зміни показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами: середньої ширини захвату *B* (*а*), середньої конструктивної маси $m_к$ (*б*) і середньої матеріаломісткості $m_{пит}$ (*в*) (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів рівнянь регресії показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами

Коефіцієнт регресії	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теор. продукт. $W_{ср}$, га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит}$, га/год×м	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Матеріаломіткість $m_{пит}$, т/м
a	-0,0403	-0,0167	-0,0047	0,0102	0,0136	0,0052
b	0,6753	0,3167	0,0775	0,3258	-0,0085	-0,0509
c	-1,9773	-1,0330	-0,2365	0,9793	0,4793	0,3926
d	3,7726	1,1833	0,4149	-	-	-

Для інших показників ефективності – середньої ширини захвату B, середньої конструктивної маси $m_к$ і матеріаломісткості $m_{пит}$ – оптимальною залежністю зміни значень є рівняння квадратичної регресії:

$$y = ax^2 + bx + c, \tag{2.2}$$

де y – відповідний показник;

a, b, c – коефіцієнти рівняння квадратичної регресії, які визначаються методом найменших квадратів (табл. 2.2);

x – номер проміжку, відповідного періоду часу.

Визначення значень конструктивної маси за рівнянням (2.2) узгоджується з результатами, представленими в роботі [16], згідно яких, залежність маси сівалки від рядності описується параболічним рівнянням.

Значення характеристичних показників, розрахованих за рівнянням регресії (2.1) і (2.2), а також похибка апроксимації ΔA, значення фактичного $F_Ф$ і табличного (критичного) F_T критеріїв Фішера, представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення характеристичних показників для зернових сівалок з механічними апаратами, розраховані за рівняннями відповідних регресій

№	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теор. продукт. $W_{ср}$, га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит}$, га/год×м	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Матеріало-місткість $m_{пит} \cdot 10^2$, т/м	Період виробн. машин, рр.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,4303	0,4502	0,2513	1,3152	0,4844	3,469	1910-і
2	2,1967	0,2501	0,2145	1,6716	0,5167	3,116	1920-і
3	2,8300	0,4823	0,2765	2,0483	0,5762	2,867	1930-і
4	4,0884	1,0465	0,4092	2,4453	0,6629	2,723	1940-і
5	5,7300	1,8421	0,5843	2,8628	0,7767	2,682	1950-і

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
6	7,5129	2,7686	0,7738	3,3005	0,9178	2,745	1960-і
7	9,1954	3,7255	0,9494	3,7587	1,0860	2,913	1970-і
8	10,5356	4,6125	1,0831	4,2372	1,2814	3,184	1980-і
9	11,2917	5,3289	1,1468	4,7361	1,5041	3,560	1990-і
10	11,2218	5,7743	1,1121	5,2553	1,7539	4,040	2000-і
ΔA	5,06	17,46	6,54	8,24	9,78	4,15	-
F_Φ	106,6132	44,7742	88,4218	94,6530	47,3153	31,6797	-
F_T	4,7571			4,7374			-

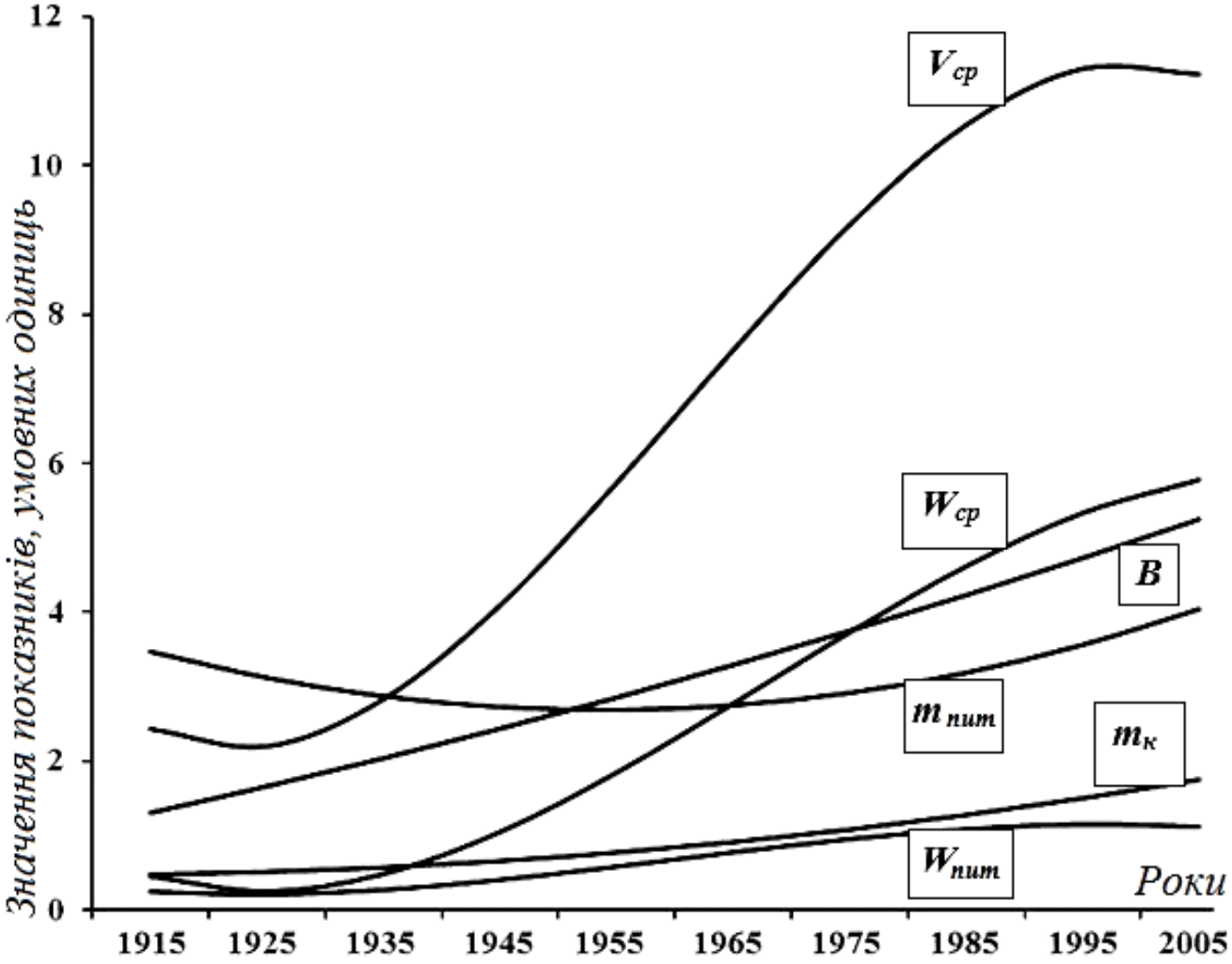
Виходячи з табл. 2.3, $F_\Phi >> F_T$, це свідчить про те, що регресії (2.1) і (2.2) статистично надійні і природа встановлених закономірностей є невипадковою. Це підтверджує адекватність отриманих регресійних рівнянь, тобто можливість їх використання для опису динаміки зміни аналізованих показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами.

На підставі даних табл. 2.3 побудовані темпоральні залежності динаміки зміни значень сукупності показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами (рис. 2.5).

Виходячи з рис. 2.5, логічно припустити, що в зв'язку із зростанням значень розглянутих показників, зокрема, ширини захвату зернових сівалок з механічними висівними апаратами має місце збільшення значень тягового опору. Тому є сенс розглянути динаміку питомого тягового опору виходячи з даних, наведених у різних публікаціях і літературних джерелах (додаток Д).

2.5 Визначення закономірностей зміни динаміки питомого тягового опору зернових сівалок

Динаміку значень питомого тягового опору за період 1960…1987 роки на основі даних додатка Д, графічно представлено на рис. 2.6, *а…д*.



$V_{ср}$ – середня швидкість, км/год; $W_{ср}$ – середня теоретична продуктивність, га/год; B – середня ширина захвату, м; $m_{пит}$ – матеріаломісткість, т; $m_к$ – середня конструктивна маса, т; $W_{пит}$ – середня питома продуктивність, га/год×м

Рисунок 2.5 – Темпоральні залежності динаміки зміни значень показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами (*джерело: розроблено автором*)

При апроксимації представлених даних встановлено, що часовий ряд значень питомого тягового опору $p_{пит}$ може визначатися рівнянням лінійної регресії $y = ax + b$ (рис. 2.6, *а*), коефіцієнти якого відповідно дорівнюють: a = 0,0413, b = 0,9665, а похибка апроксимації становить ΔA = 14,7%, або рівнянням показової регресії $y = ab^x$ (рис. 2.6, *б*), коефіцієнти якого відповідно дорівнюють: a = 0,9997, b = 1,0292. Похибка апроксимації при цьому становить ΔA = 14,2%.

Графічні залежності, рис. 2.6 *а, б,* дозволяють прогнозувати динаміку значень питомого тягового опору, результати якої представлено на рис. 2.6, *в, г*.

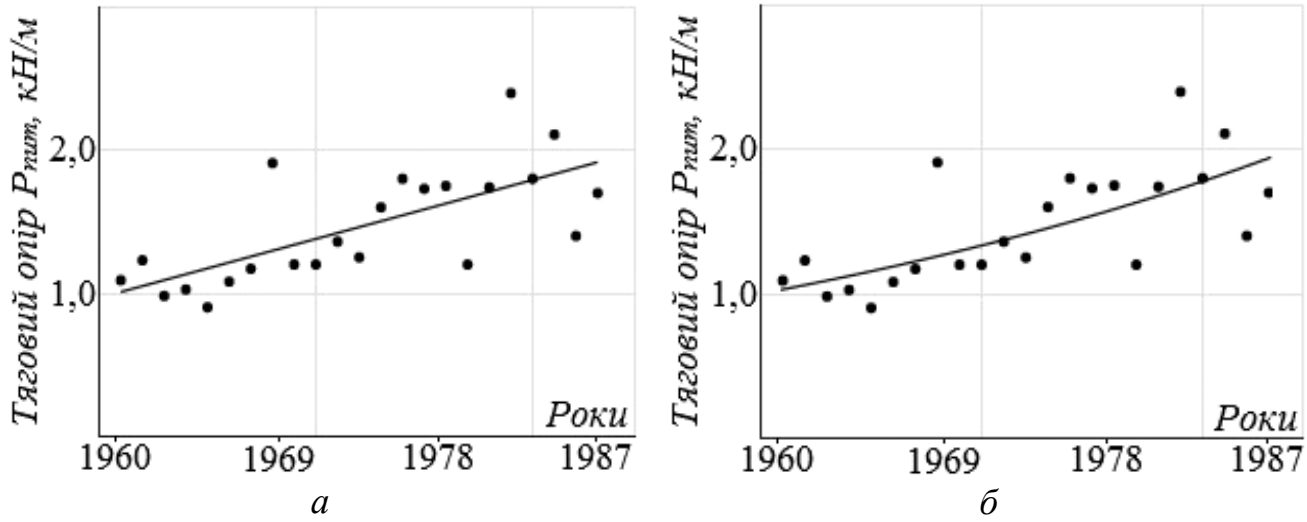
Середні значення питомого тягового опору зернових сівалок на основі даних додатку Д, представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Середні значення динаміки зміни питомого тягового опору зернових сівалок

Значення показників	1960 рр.	1970 рр.	1980 рр.
Проміжок часу	1	2	3
Тяговий опір $p_{пит}$, кН/м	1,045	1,320	1,710

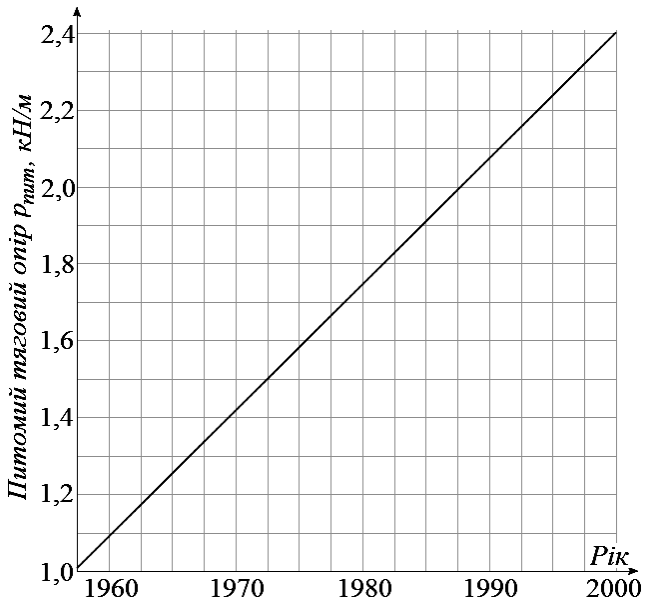
При апроксимації даних табл. 2.4 встановлено, що часовий ряд середніх значень питомого тягового опору $p_{пит}$ визначається рівнянням квадратичної регресії (2.2), коефіцієнти якого відповідно дорівнюють: a = 0,0575, b = 0,1025, c = 0,885, а похибка апроксимації становить ΔA = 0.

Графічна залежність, що відображає прогнозування динаміки середніх значень питомого тягового опору зернових сівалок, представлена на рис. 2.6, *д*.

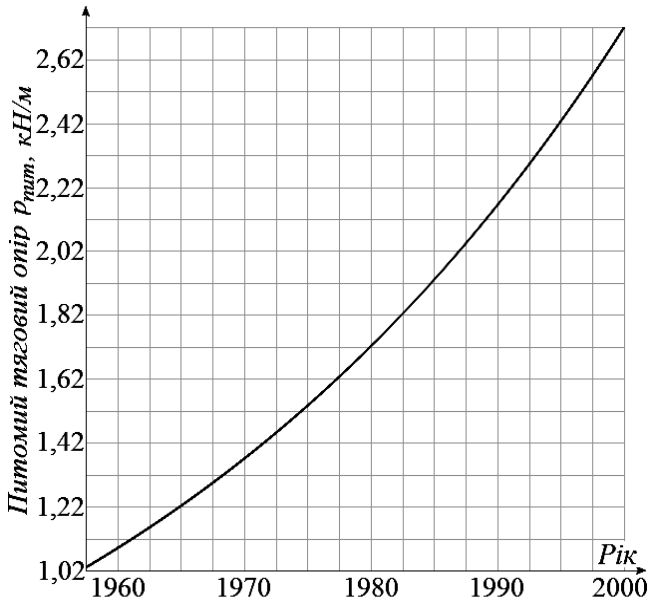


а *б*

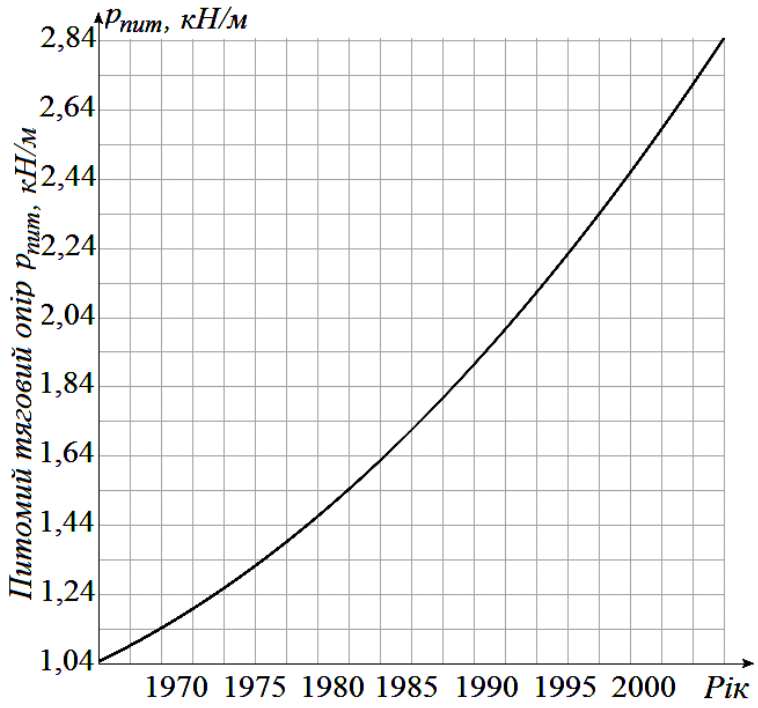
Діаграми розсіювання і темпоральні залежності динаміки зміни значень питомого тягового опору зернових сівалок з механічними висівними апаратами при лінійній апроксимації (*а*) та при показовій апроксимації (*б*);



в



г



д

в – прогнозування значень тягового опору при лінійній апроксимації;

г – прогнозування значень тягового опору при показниковій апроксимації;

д – прогнозування середніх значень тягового опору

Рисунок 2.6 – Темпоральні залежності прогнозування динаміки зміни значень питомого тягового опору зернових сівалок з механічними висівними апаратами (*джерело: розроблено автором*)

Виходячи з динаміки представлених на рис. 2.6, *а*...*д* даних можна констатувати, що на протязі вказаного проміжку часу усереднений тяговий, або технологічний опір зернових сівалок поступово зростає внаслідок дії різноманітних факторів.

Оскільки розглядаються зміни значень питомого тягового опору зернових сівалок при зміні їх продуктивності, яка визначається, в основному, підвищенням ширини захвату, то при цьому основною причиною зміни питомого тягового опору є вплив екстенсивних факторів підвищення продуктивності – зростання матеріаломісткості, викликане підвищенням ширини захвату сівалок.

2.6 Інтерпретація отриманих даних показників ефективності для сівалок з механічними висівними апаратами

Розглядаючи графічні інтерпретації *S*-подібних функцій, що характеризують середні швидкість, продуктивність і питому продуктивність зернових сівалок (рис. 2.3 і 2.4), тобто ті показники, що залежать від інтенсивності руху (швидкості або прискорення) і визначають інтенсивний (якісний) характер розвитку посівних машин, можна бачити, що вони мають тенденцію до насичення в певний момент часу. У той же час графіки *S*-подібних функцій, що характеризують ширину захвату, конструктивну масу і матеріаломісткість і визначають екстенсивний (кількісний) характер розвитку посівних машин, мають тенденцію до безперервного зростання, що тягне за собою супутнє непропорційне зростання матеріальних і грошових коштів, а також зниження капіталовіддачі та рівня інноваційності в процесі виробництва та експлуатації, розглянуті в розділі 1.

Залежності на рис. 2.2...2.5 підтверджують той факт, що розвиток зернових сівалок з механічними котушковими висівними апаратами підпорядковується логістичній закономірності і має межу насичення, а закладений принцип дії за показниками ефективності приймає граничні характеристики [11].

У відповідності з формою цих залежностей, в різні періоди розвитку продуктивність нових машин спочатку незначно відрізняється від продуктивності

колишніх засобів механізації, наприклад періоди *1...3*, або початкова стадія (рис.2.2). Потім вона зростає прискореними темпами (періоди *3...8*, або основна стадія), а в кінці приріст показників продуктивності сповільнюється, або навіть знижується (період *8...10*), так як загострюються протиріччя між потребами виробництва і можливостями існуючої енергетичної бази і принципу дії машин.

Виявлено, що у кожному періоді, зростання або зміна показників розвитку машин у часі відбувається безперервно, але з різною швидкістю. В еволюційному процесі їх розвитку спостерігаються невеликі стрибки, пов'язані з освоєнням і впровадженням нових технологій виробництва, конструктивних матеріалів і видів техніки. При цьому одночасно збільшуються витрати енергії на одиницю роботи, чи продукції, зростають капітальні та експлуатаційні витрати. На думку Іванова І.Ф. [44], це відображається збільшенням «опору середовища». Графічна інтерпретація зазначеного наведена на рис. 2.7.

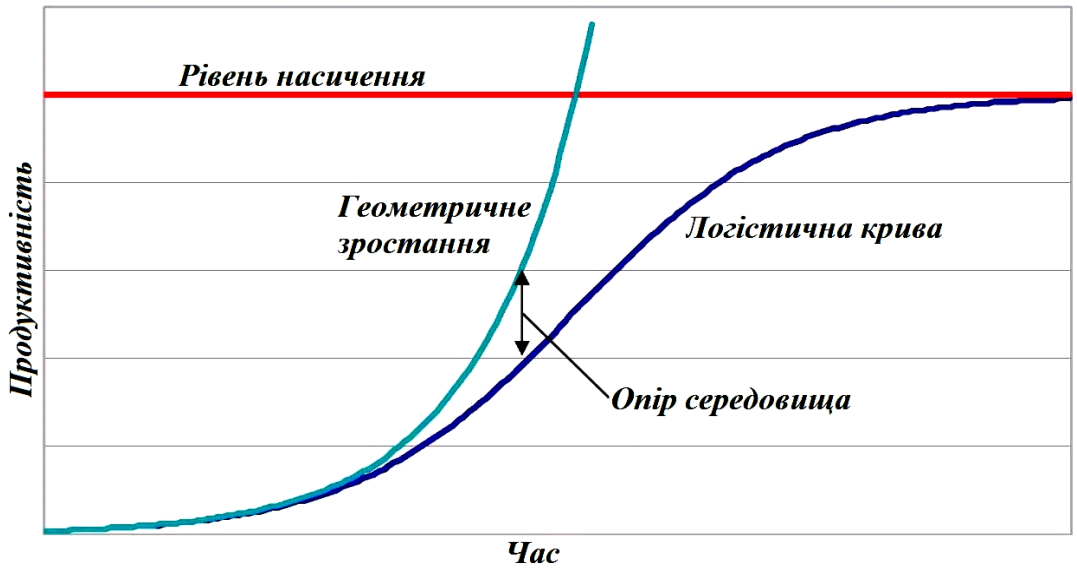


Рисунок 2.7 – Графічне відображення зміни потенціалу продуктивності і «опору середовища» для зернових сівалок з механічними висівними апаратами (*джерело: розроблено в [44], с. 48*)

Потенціал продуктивності – це приріст продуктивності з плином часу, який здійснюється при відсутності обмежень в енергії, відсутності шкідливих побічних ефектів і т.д. Проте в реальності «середовище», а точніше, фіксована кількість

ресурсів або енергії, обмежує можливості приросту продуктивності, що і може відповідати поняттю «опір середовища».

Щодо розглянутого типу сівалок «опір середовища» полягає в тому, що продуктивність машини пропорційна корисно витраченій енергії. З іншого боку, чим більше передається потужність, тим більші її втрати. Відбувається це внаслідок наступних причин: морально та фізично застарілого принципу дії; пульсацій потужності при здійсненні технологічного процесу, які досягають 10...40% [8, 29], що завжди призводить до додаткової нераціональної витрати енергії та необхідності резервування енергоресурсів; при збільшенні переданої потужності є потреба у підвищенні міцності елементів передавальних механізмів (трансмісії), що пов'язане із зростанням габаритних розмірів машин, а також втрат на холостий хід машин.

Отримані дані не суперечать результатам роботи [75], згідно з якими інтенсивність дії лімітуючих факторів у процесі розвитку мобільної СГТ безперервно наростає, що неодмінно призводить до зниження ступеня приросту продуктивності.

Крім того, ще на початку 90-х років XX століття більшість функцій машин (понад 70%) реалізовувалися механічним шляхом. В даний час механічні пристрої все частіше стають вузьким місцем в складних машинах. Це пояснюється їх недостатньою функціональною гнучкістю, наявністю процесів тертя, люфтів і пружностей в передачах, а також все зростаючою вартістю [84].

Тому висунута гіпотеза теоретичних досліджень про відповідність темпоральної динаміки зміни значень показників ефективності роботи зернових сівалок з механічними висівними апаратами *S*-подібній функції, може вважатися підтвердженою на основі розглянутих фактів і встановлених кількісних закономірностей.

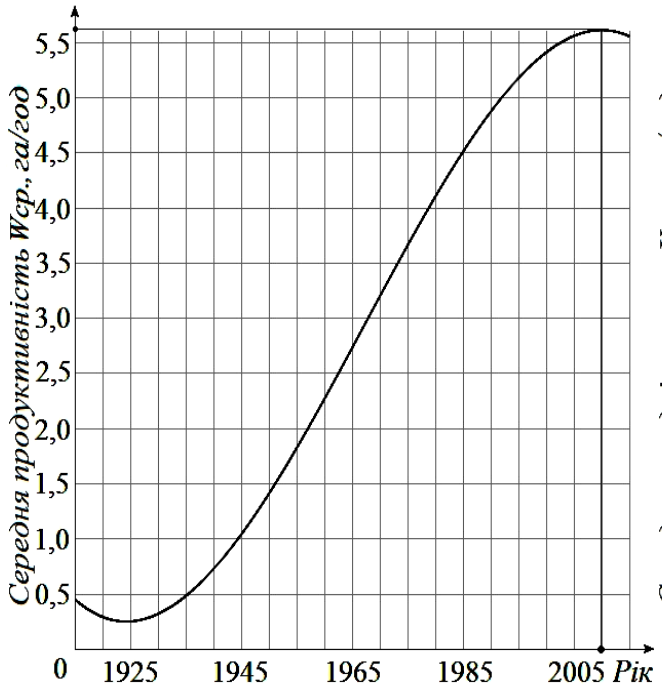
2.7 Прогнозування показників ефективності для зернових сівалок з механічними висівними апаратами

Оскільки залежності, представлені на рис. 2.5, є кривими насичення, які

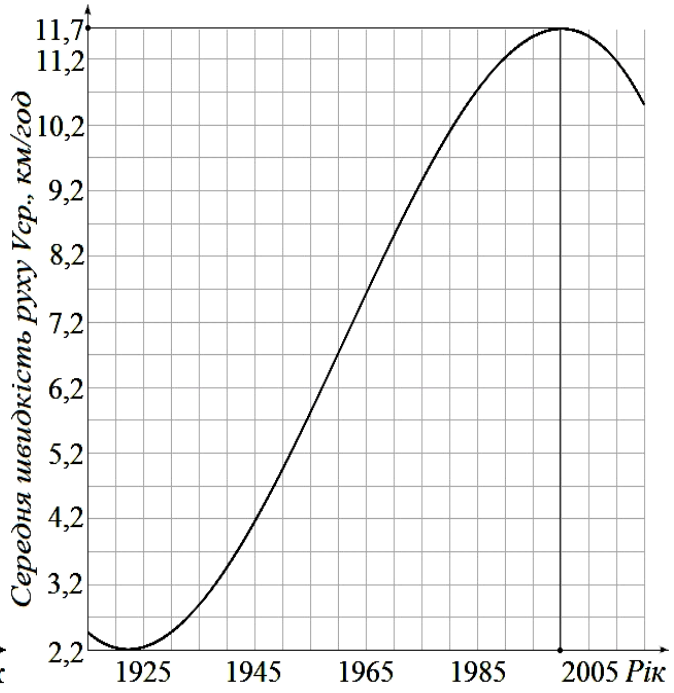
описуються *S*-подібною функцією, то необхідно визначити насичення розглянутих показників ефективності на основі прогнозування.

При прогнозуванні часовими рядами широко використовуються методи регресійного аналізу, ковзних середніх та експоненціального згладжування. Вони застосовуються, в основному, для порівняно короткострокового прогнозування тільки у випадках еволюційного розвитку процесів [27], що було встановлено у розглянутих випадках. Одним з важливих моментів прогнозування є вибір співвідношення глибини ретроспективности виявлених трендів і дальності прогнозованого інтервалу. Як правило, термін прогнозів становить до 1/3 ретроспективного часового ряду [27].

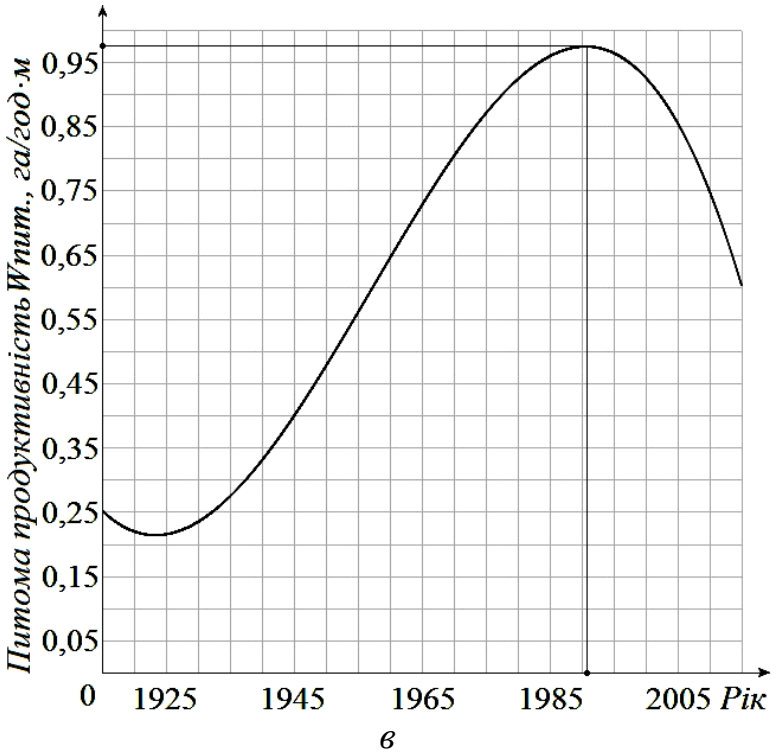
На основі регресійних рівнянь (2.1) і (2.2) та значень їх коефіцієнтів (табл.2.2) визначимо насичення показників розвитку і технічного рівня зернових сівалок з механічними висівними апаратами, побудувавши прогнозні графіки насичення (рис. 2.8, 2.9) на строк, що становить 10% від величини ретроспективного часового ряду, тобто приблизно до 2015 року, з метою виявлення відповідності прогнозованих значень досягнутим показникам.



а



б



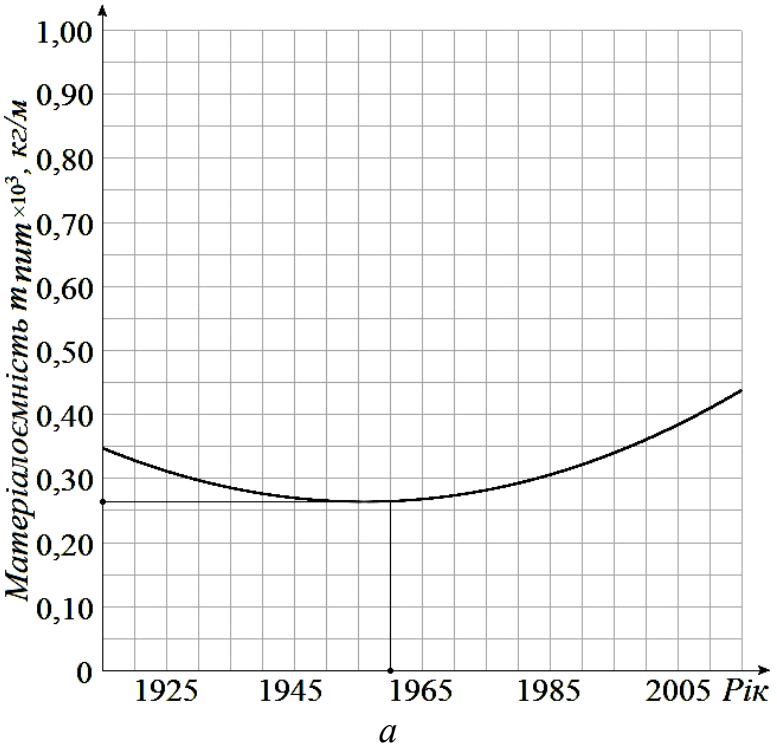
в

а – середньої продуктивності; б – середньої швидкості руху;

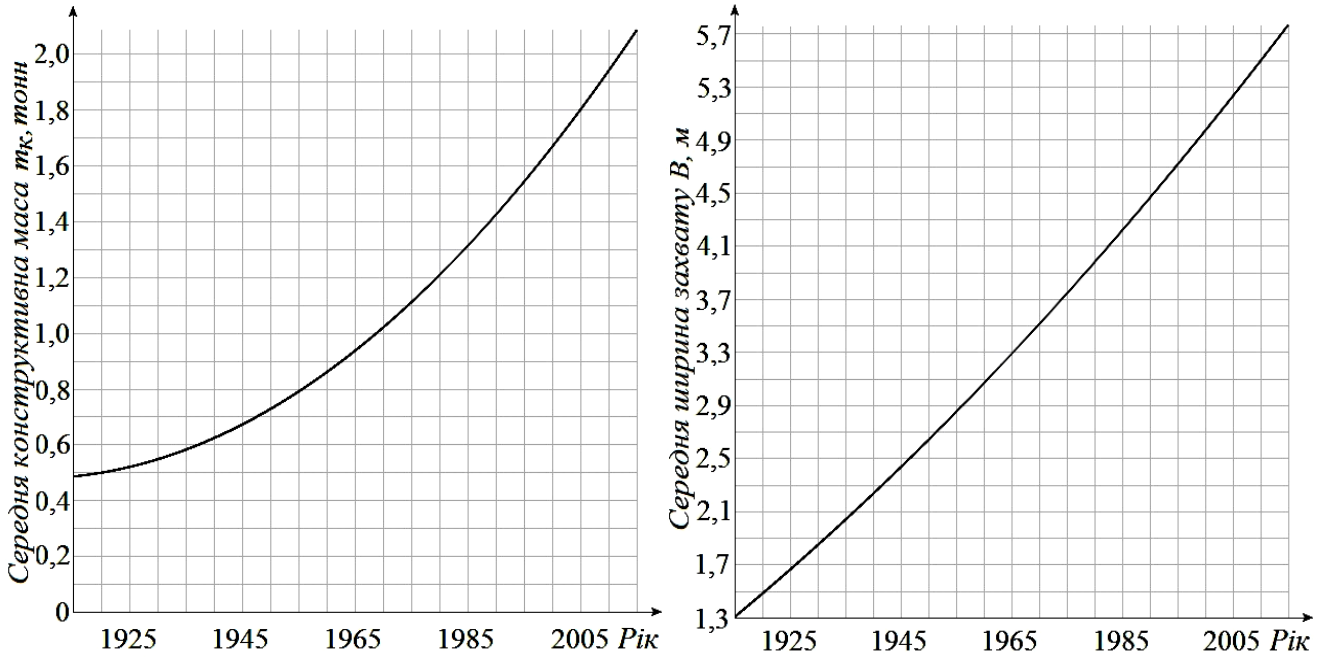
в – середньої питомої продуктивності

Рисунок 2.8 – Прогнозні графіки насичення значень технологічних показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами

(*джерело: розроблено автором*)



а



б *в*

а – середньої матеріаломісткості; б – середньої конструктивної маси;

в – середньої ширини захвату

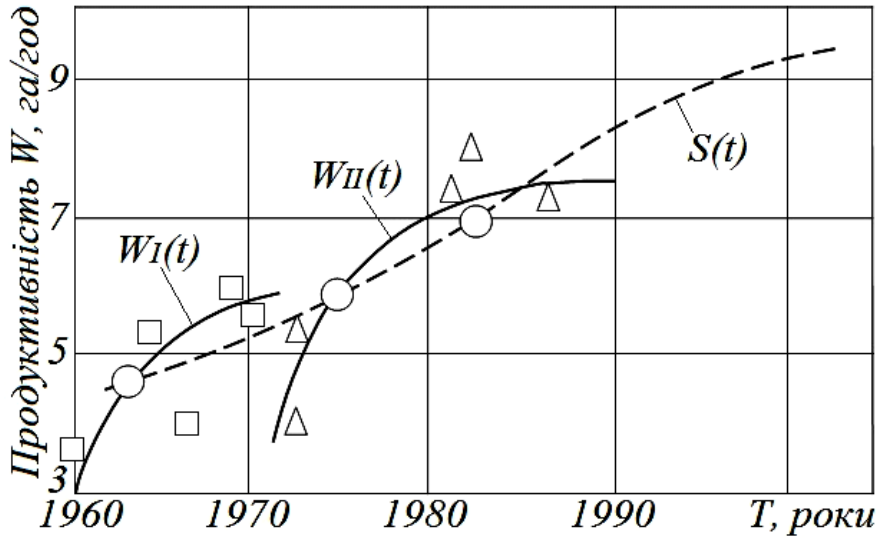
Рисунок 2.9 – Прогнозні графіки насичення значень конструктивних показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами

(*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи представлені графічні залежності показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами, можна встановити, що діапазон оптимальної межі для середньої швидкості руху досягнутий на 2000-й рік становить 11,3...12 км/год, що зумовлено агротехнічними і енергетичними обмеженнями; для продуктивності – досягнутий на 2010-й рік і становить 5,6...5,8га/год, при швидкості 11,5 км/год і ширині захвату 5,0...5,2 м; для питомої продуктивності – досягнутий на період 1990…1995 роки і становить 0,98...1,1га/год×м. Інші показники – ширина захвату, конструктивна маса і матеріаломісткість не показують насичення і мають тенденцію до безперервного зростання. Це також підтверджує розглянуте (розділ 1) щодо прогресуючого зростання капіталовкладень при непропорційному зниженні віддачі, згідно із законом спадної продуктивності основних фондів. Тому для зернових сівалок з

механічними висівними апаратами принципово не вдасться знизити матеріаломісткість до оптимальної в даних соціальних та техніко-економічних умовах, з одночасним пропорційним підвищенням ефективності і продуктивності, оскільки вже досягнуті максимальні значення показників, що відповідають даному принципу дії.

Аналогічні результати отримані в роботі [34], де застосовані функціональні та часові моделі змінної $W_З$ і чистої $W_Ч$ продуктивності для термінального прогнозу, на основі яких побудовані сплайни, утворюючі *S*-подібну функцію. Це дає уявлення про динаміку зміни продуктивності *W* зернових сівалок. При переході до розробки часової моделі за початковий момент розвитку для сівалок СУ-24 прийнято 1960 рік, для СЗ-3,6 – 1973 рік, (рис. 2.10).



$W_I\,(t)$ – для сівалки моделі СУ-24; $W_{II}\,(t)$ – для сівалки моделі СЗ-3,6; $S(t)$ – узагальнений прогноз

Рисунок 2.10 – Часова модель розвитку експлуатаційної продуктивності зернових сівалок (*джерело: розроблено в [34], с. 8*)

Темпоральна динаміка змінної продуктивності для сівалки СУ-24 описується рівняннями, згідно [34]:

$$W_I(t) = -0{,}025(T\text{-}1960)^2 + 0{,}525(T\text{-}1960) + 3,\ га / зміну; \qquad (2.3)$$

для сівалки СЗ-3,6:

$$W_{II}(t) = -0{,}0156(T\text{-}1973)^2 + 0{,}553(T\text{-}1973) + 4{,}25, \; га / зміну. \qquad (2.4)$$

За даними залежностями визначено момент досягнення сівалками СУ-24 і СЗ-3,6 максимальної продуктивності. Це 1971 та 1990 роки відповідно.

Узагальненим прогнозом є *S*-подібна функція, що складається з 2-х сплайнів, згідно [34]:

$$S(t) = \begin{cases} S_I = 0{,}0041(T-1967)^2 - 0{,}005(T-1963) + 4{,}3; \\ S_{II} = -0{,}0041(T-1963)^2 + 0{,}323(T-1963) + 3{,}08. \end{cases} \qquad (2.5)$$

За сплайном *S(t)* визначаться максимальна змінна продуктивність, яка спостерігається на період T = 2002...2003 рр.

В роботі [34] також наголошується, що при збереженні існуючих тенденцій розвитку найбільш перспективними будуть пневматичні сівалки з централізованим висівом. Отже, подальший прогрес в механізації сівби зернових культур здійснюється за рахунок застосування сімейства сівалок з іншим принципом дії, на основі пневматичної централізованої висівної системи [17, 185].

2.8 Закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами

В якості основних показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами також прийняті технологічні параметри: теоретична швидкість руху, теоретична продуктивність, продуктивність на метр ширини захвату (питома продуктивність) і конструктивні параметри: ширина захвату конструктивна маса, матеріаломісткість (маса на метр ширини захвату).

Середні значення показників ефективності конструкцій та роботи зернових сівалок з пневматичними висівними системами по десятиліттям, на основі додатків Е та Ж, представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Значення показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок з пневматичними висівними системами

№	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теор. продукт. $W_{ср,}$ га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит,}$ га/год×м	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Матеріало-місткість $m_{пит} \cdot 10^2$, т/м	Період виробн. машин, рр.
	Технологічні показники			Конструктивні показники			
1	10,630	6,402	1,066	6,017	1,115	1,850	1970-і
2	11,000	7,071	1,110	6,412	1,390	1,930	1980-і
3	11,816	7,925	1,182	6,665	1,414	2,150	1990-і
4	13,130	8,554	1,296	6,893	1,486	2,370	2000-і

Для виявлення динаміки значень показників ефективності зернових сівалок з ПЦВС також була застосована програма «Еволюційні моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів». В результаті реалізації генетичних алгоритмів отримується *S*-подібна функція, що відображає динаміку відповідного показника [12]. На рис. 2.11 представлена *S*-подібна функція, що характеризує середню теоретичну продуктивність $W_{ср}$.

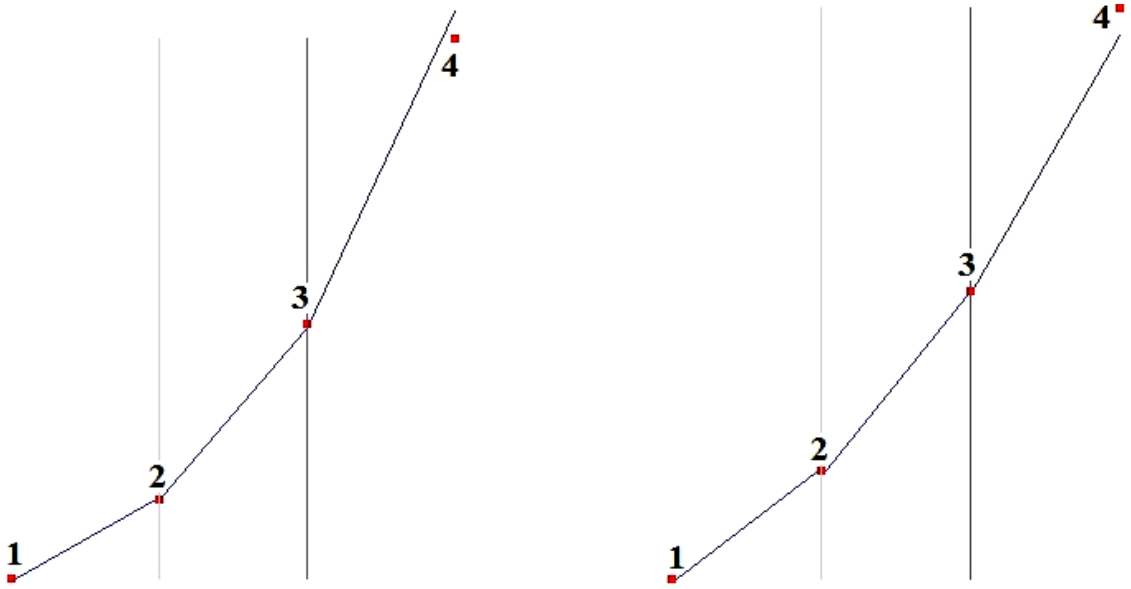
Отримані на ПК види *S*-подібних функцій, що характеризують інші конструктивно-технологічні показники зернових сівалок з ПЦВС за даними табл.2.5, представлені на рис. 2.12 і 2.13.

При апроксимації даних табл. 2.5, встановлено, що оптимальною залежністю зміни показників середньої теоретичної продуктивності $W_{ср}$ від часу є рівняння кубічної регресії (2.1).



1...4 – періоди часу

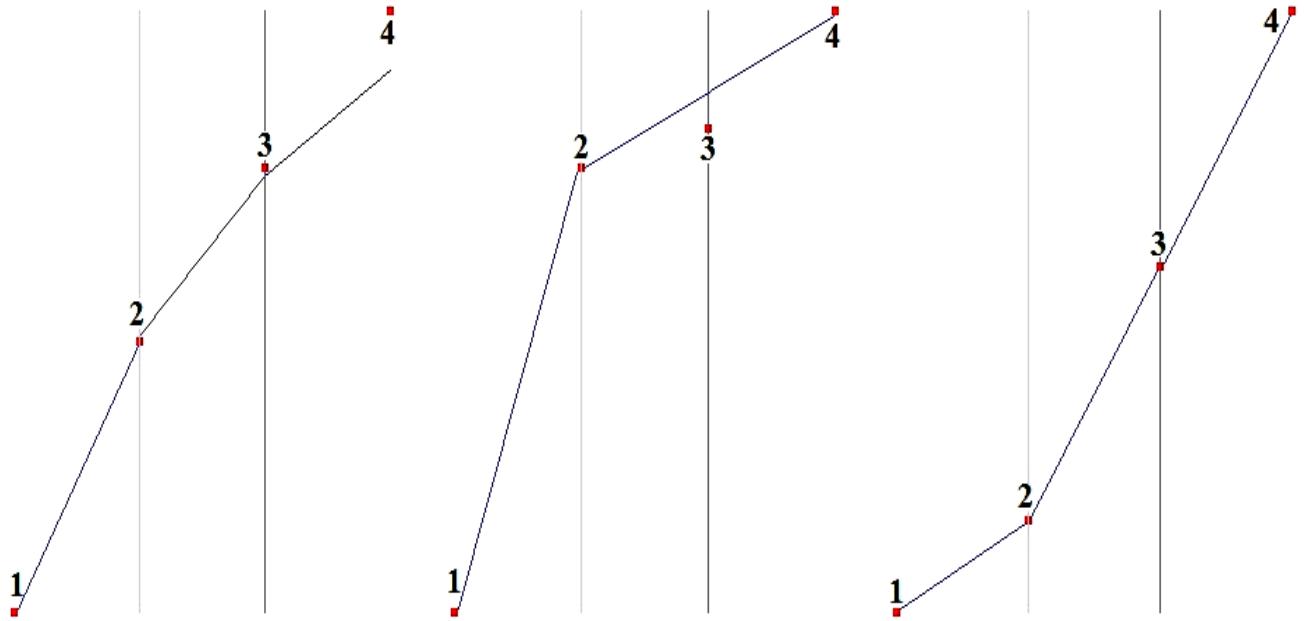
Рисунок 2.11 – Результати обробки показника середньої теоретичної продуктивності $W_{ср}$ на основі еволюційних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів і вид його *S*-подібної функції (*джерело: розроблено автором*)



а *б*

1...4 – періоди часу

Рисунок 2.12 – Вид *S*-подібних функцій, що характеризують динаміку показників зернових сівалок з ПЦВС: середньої швидкості $V_{ср}$ (*а*) і середньої питомої продуктивності W_{num} (*б*) (*джерело: розроблено автором*)



а *б* *в*

1...4 – періоди часу

Рисунок 2.13 – Вид *S*-подібних функцій, що характеризують динаміку показників сівалок з ПЦВС: середньої ширини захвату (*а*), середньої конструктивної маси $m_к$ (*б*) і середньої матеріаломісткості $m_{пит}$ (*в*) (*джерело: розроблено автором*)

Для інших показників ефективності – середньої швидкості $V_{ср}$, середньої питомої продуктивності $W_{пит}$, середньої ширини захвату B, середньої конструктивної маси $m_к$ і матеріаломісткості $m_{пит}$ – оптимальними залежностями зміни значень показників є рівняння квадратичної регресії (2.2).

Коефіцієнти рівнянь регресії показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Значення коефіцієнтів рівнянь регресії показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами

Коефіці-єнт регресії	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теоретич. продукт. $W_{ср}$, га/г	Середня питома. продукт. $W_{пит}$, га/гм	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Мате-ріало-місткість $m_{пит}$, т/м
1	2	3	4	5	6	7
а	0,2360	-0,0683	0,0175	-0,0418	-0,0508	0,0350

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7
b	-0,3484	0,5025	-0,0113	0,4969	0,3675	0,0030
c	10,745	-0,3602	1,0605	5,5677	0,8132	1,8050
d	-	6,3280	-	-	-	-

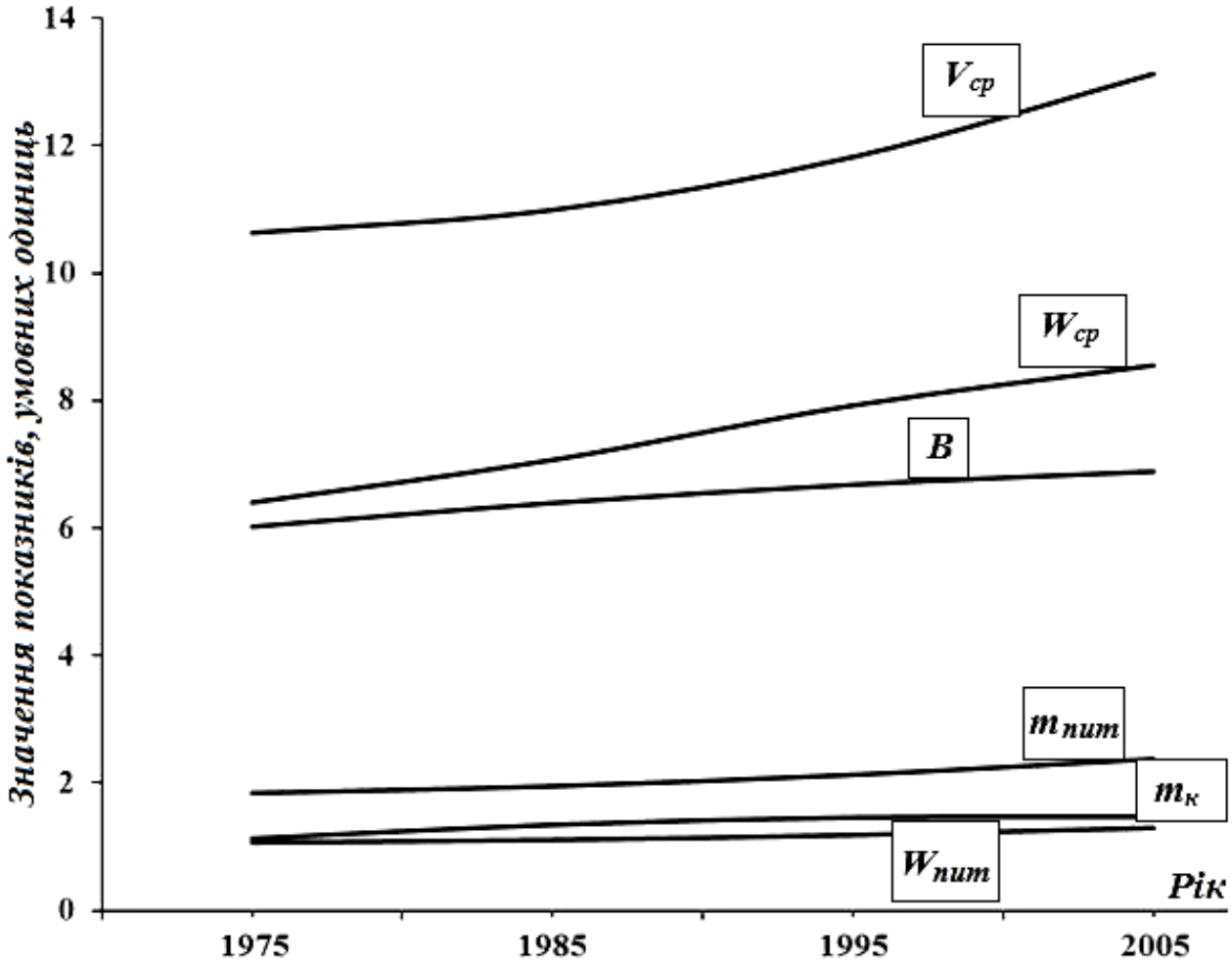
Значення характеристичних показників, розрахованих за рівняннями регресії (2.1) і (2.2), а також похибка апроксимації ΔA, значення фактичного $F_Ф$ і табличного (критичного) F_T критеріїв Фішера, представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Значення характеристичних показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами, розрахованих за рівняннями регресій

№	Середня швидк. $V_{ср}$, км/год	Середня теор. продукт. $W_{ср,}$ га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит,}$ га/год×м	Середня ширина захвату B, м	Середня констр. маса $m_к$, т	Матеріало-місткість $m_{пит}\cdot 10^2$, т/м	Період виробн. машин, рр.
1	10,6326	6,4020	1,0667	6,0229	1,1300	1,8430	1970-і
2	10,9922	7,0710	1,1079	6,3945	1,3452	1,9510	1980-і
3	11,8238	7,9250	1,1841	6,6826	1,4589	2,1290	1990-і
4	13,1274	8,5540	1,2953	6,8872	1,4711	2,3770	2000-і
ΔA %	0,05	0	0,12	0,18	2,19	0,68	-
$F_Ф$	13611,6	0	1543,74	308,262	800,382	830,326	-
F_T	199,5	0	199,5	199,5			-

Виходячи з табл. 2.7 можна зробити висновок, оскільки $F_Ф >> F_T$, то регресії статистично надійні і природа встановлених закономірностей є невипадковою. Це підтверджує адекватність отриманих регресійних рівнянь, тобто можливість їх використання для опису динаміки зміни аналізованих показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами.

На підставі даних табл. 2.7 побудовані темпоральні залежності динаміки зміни показників розвитку зернових сівалок з пневматичними висівними системами (рис. 2.14).



$V_{ср}$ – середня швидкість, км/год; $W_{ср}$ – середня теоретична продуктивність, га/год; B – середня ширина захвату, м; $m_{нит}$ – матеріаломісткість, т; $m_к$ – середня конструктивна маса, т; $W_{нит}$ – середня питома продуктивність, га/год×м

Рисунок 2.14 – Темпоральні залежності динаміки зміни значень показників розвитку зернових сівалок з пневматичними висівними системами (*джерело: розроблено автором*)

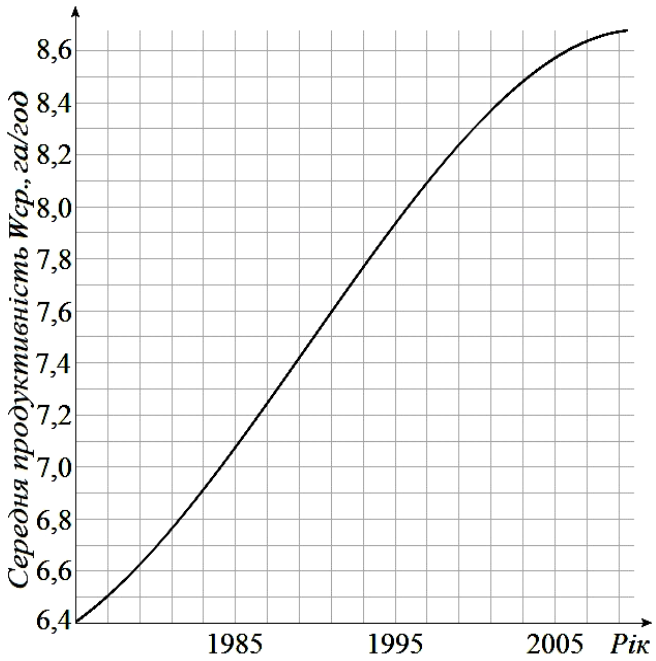
Аналіз цих залежностей свідчить, що зернові сівалки з ПЦВС, які мають компонувальну схему з груповим дозуванням насіння, це сприяє підвищенню продуктивності на 10...25%, зменшенню матеріаломісткості в 2...3 рази та зниженню витрат праці на 25...31% в порівнянні з посівними машинами з

котушковими висівними апаратами [10]. Тому розглянуті показники ефективності мають потенціал поліпшення.

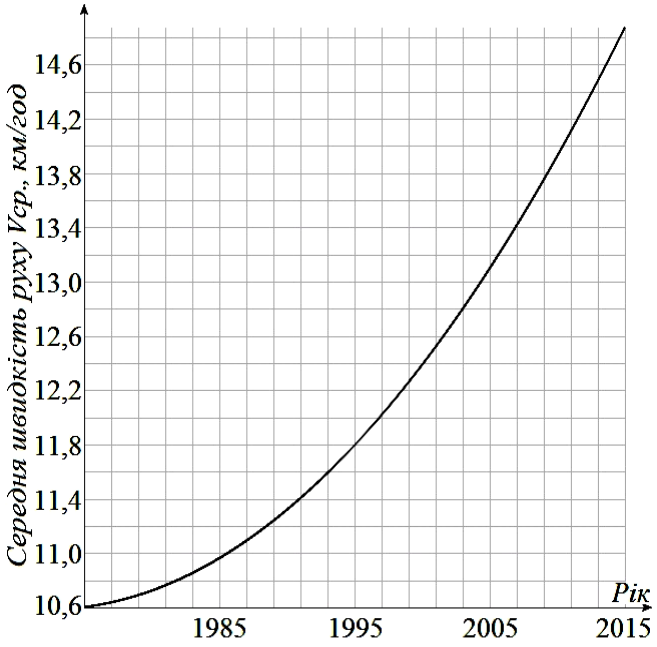
Разом з тим практика показує, що найбільший ефект від реалізації принципу централізованого висіву має місце в широкозахватних сівалках. До того ж тут спостерігаються порівняно великі енерговитрати на роботу висівної системи, значна нерівномірність висіву між сошниками та пошкодження насіння (розділ 1).

2.9 Прогнозування показників ефективності для зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами

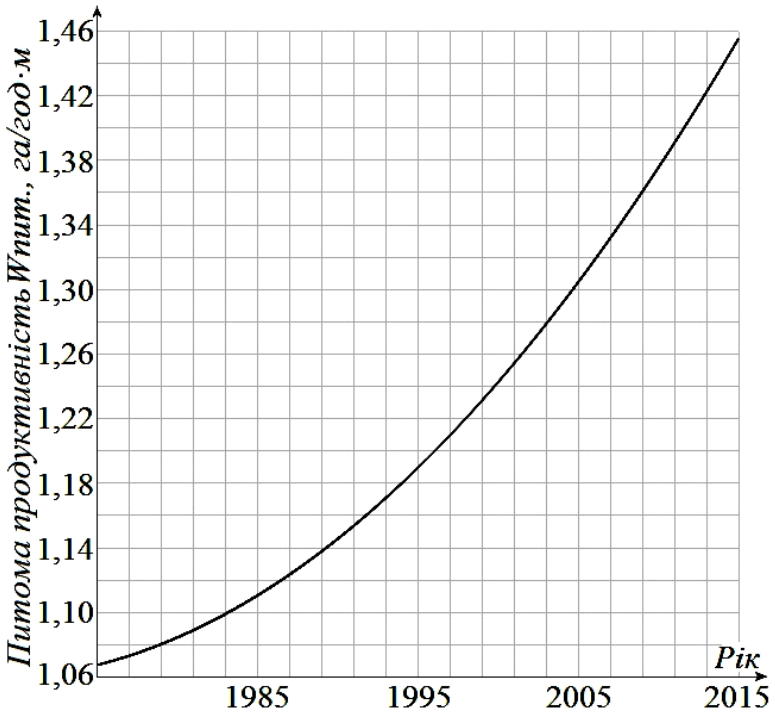
Прогнозування значень показників ефективності зернових сівалок з пневматичними висівними системами здійснимо аналогічно сівалкам з котушковими висівними апаратами. На основі рівнянь (2.1) і (2.2) та їх коефіцієнтів в табл. 2.6 визначимо можливе насичення показників розвитку і технічного рівня зернових сівалок з пневматичними висівними системами, побудувавши прогнозні графіки насичення (рис. 2.15, 2.16) на строк, що становить 10% від величини ретроспективного ряду, тобто приблизно до 2015 року.



а



б

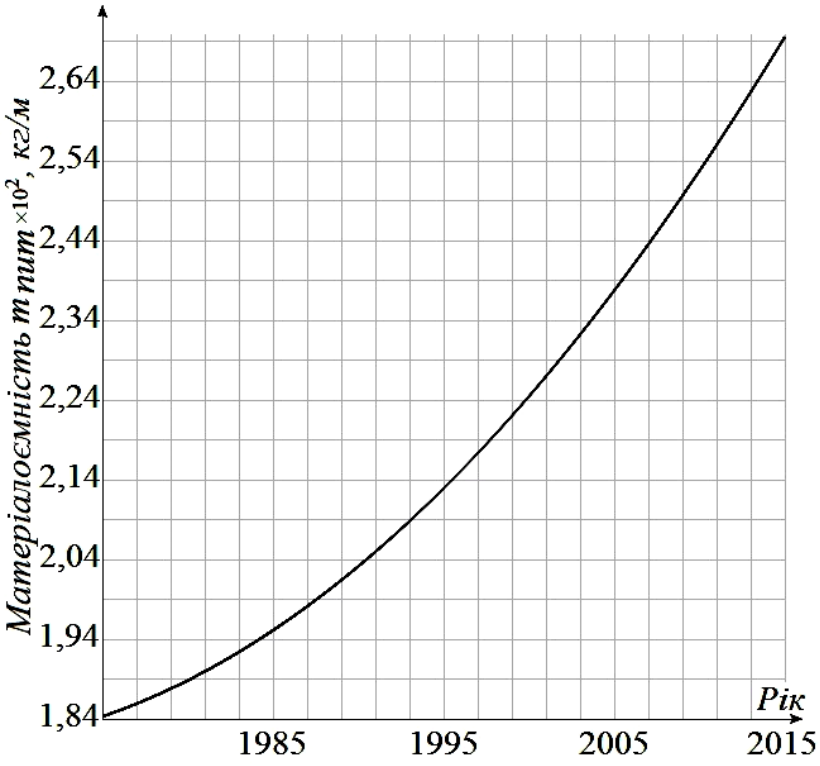


в

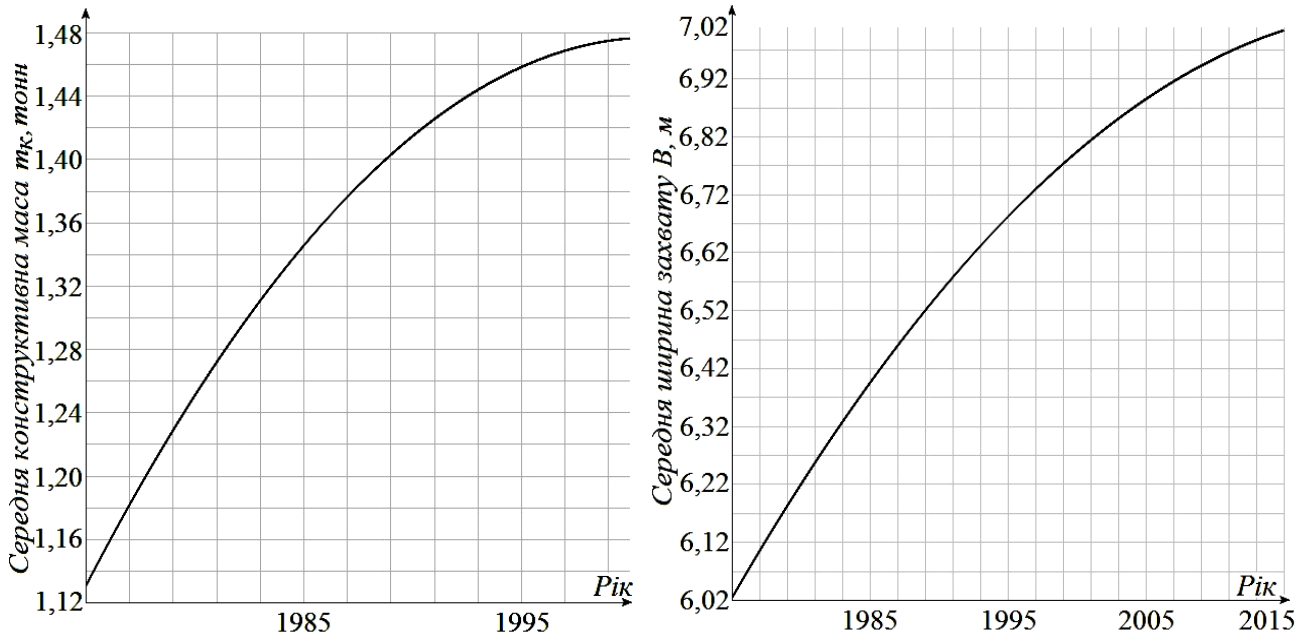
а – середньої продуктивності; б – середньої швидкості руху;

в – середньої питомої продуктивності

Рисунок 2.15 – Графіки насичення значень технологічних показників зернових сівалок з пневматичними висівними системами (*джерело: розроблено автором*)



а



а – середньої матеріаломісткості; б – середньої конструктивної маси;

в – середньої ширини захвату

Рисунок 2.16 – Графіки насичення значень конструктивних показників зернових сівалок з пневматичними висівними системами (*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи представлені на рис. 2.14 і 2.15 графічні залежності можна встановити, що незважаючи на підвищення середньої швидкості руху, середня продуктивність приймає вигляд *S*-подібної функції, внаслідок насичення значень середньої ширини захвату, одночасно з якою насичуються і значення середньої конструкційної маси зернових сівалок з ПЦВС. Значення середньої питомої продуктивності і середньої матеріаломісткості збільшуються, проте з великою часткою ймовірності можна сказати, що через певний час вони також будуть визначатися *S*-подібною функцією.

2.10 Критерій ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок

Встановлені залежності (рис. 2.5, 2.6, 2.14) дозволяють висунути гіпотезу про існування критеріїв (функцій) корисності або ефективності функціонування посівних машин, аналогічних критеріям оптимальності функціонування технічної

системи, запропонованим в роботі [15] та критеріям, розглянутим в п. 1.4.3. Такі критерії можуть представляти собою параметричні співвідношення, що визначають ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок, зокрема на основі раціонального використання енергії.

Вищенаведені міркування дають підставу запропонувати критерій ефективності, що враховує конструктивну досконаліть і виконання заданих функцій зерновими сівалками.

На рис. 2.17 представлено графік *1*, що характеризує зміну питомого тягового опору зернових сівалок (рис. 2.6) і поєднаний з графіком *2* зміни питомої продуктивності сівалок, які оснащені механічними висівними апаратами (рис.2.5). Продуктивність пропорційна корисно витраченої енергії [7], яку можна виразити витратами на подолання тягового опору. Виходячи з графіків (рис. 2.17, крива *1* і *2*) припустимо, що співвідношення витрат енергії, виражених в даному випадку питомим тяговим опором до показника питомої продуктивності, тобто p_{num}/W_{num}, може характеризувати порівняльну ефективність посівної машини [13].

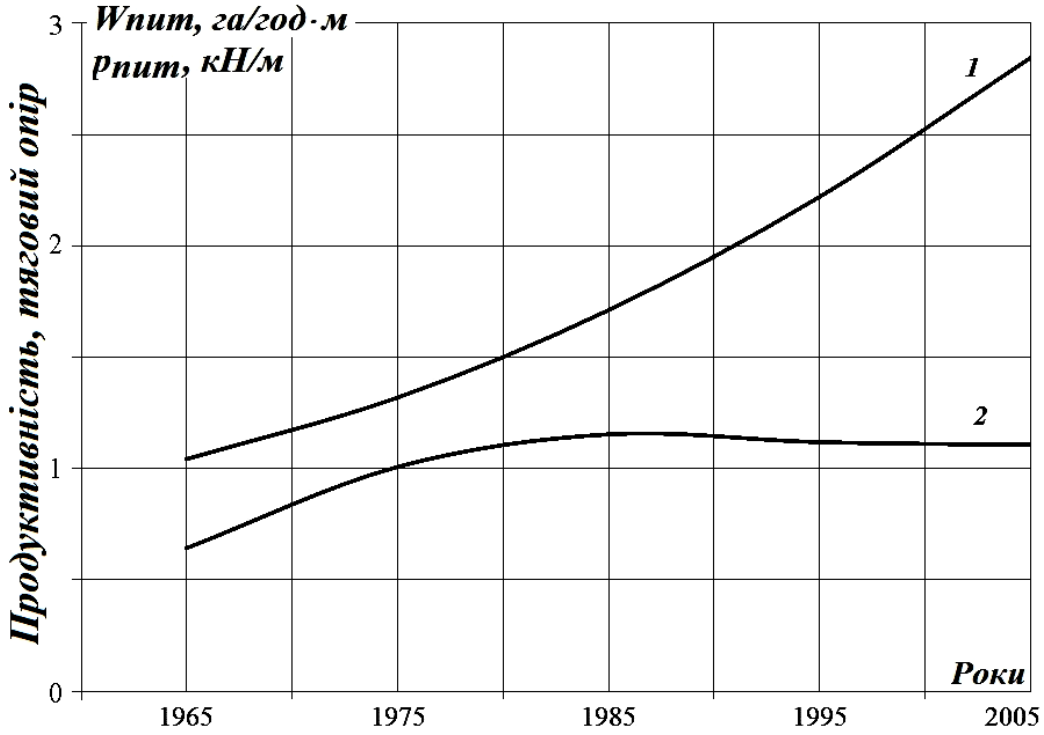


Рисунок 2.17 – Суміщена динаміка зміни значень питомого тягового опору p_{num} (*1*) і питомої продуктивності W_{num} (*2*) зернових сівалок з механічними висівними апаратами (*джерело: розроблено в [13], с. 43*)

Тоді критерій ефективності можна записати у вигляді:

$$\frac{p_{пит}}{W_{пит}} \rightarrow min. \qquad (2.6)$$

Визначимо значення запропонованого критерію ефективності для різних періодів виробництва і застосування зернових сівалок з механічними котушковими висівними апаратами, виходячи з даних табл. 2.1, 2.3, 2.4: для 1960-х років – 1,62, для 1970-х років – 1,31, для 1980-х років – 1,48.

Для інших періодів критерій оптимальності визначимо, виходячи з графіка на рис. 2.16: для 1990-х років – 2,00, для 2000-х років – 2,57.

Наприклад, для 40-рядної зернової сівалки Astra-6, що випускається в даний час, при швидкості руху V_p = 12 км/год, розрахунковий питомий тяговий опір складе $p_{пит}$ = 2,75 кН/м при питомій продуктивності $W_{пит}$ = 1,2 га/год×м. Отже, значення запропонованого показника ефективності для сівалки Astra-6 складе 2,29Н×год/га. Відповідно, для 24-х рядної зернової сівалки СЗ-3,6А що також випускається в даний час, при швидкості руху V_p = 15 км/год, розрахунковий питомий тяговий опір складе $p_{пит}$ = 2,60 кН/м при питомій продуктивності $W_{пит}$ = 1,5 га/год×м, а значення пропонованого показника ефективності для сівалки СЗ-3,6А складе 1,73 Н×год/га. Тому в цих умовах логічною буде тенденція до підвищення робочих швидкостей руху, яка вже має місце в даний час для зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами, що приводить до поліпшення аналізованого показника ефективності (рис. 2.18).

Так, для зернових сівалок Accord MSC4 і MSC6 робоча швидкість руху складає 18 км/год, а для сівалки Horsch Pronto 6AS – 20 км/год. Це дозволяє скоротити агротехнічні строки виконання робіт, зменшити втрати вологи зменшенням міжопераційних проміжків часу, економити ПММ.

В якості граничного критерію ефективності емпірично можна прийняти «золотий» перетин або «золоту» пропорцію, значення якої становить 1,618, тобто:

$$\frac{p_{пит}}{W_{пит}} < 1{,}618. \qquad (2.7)$$

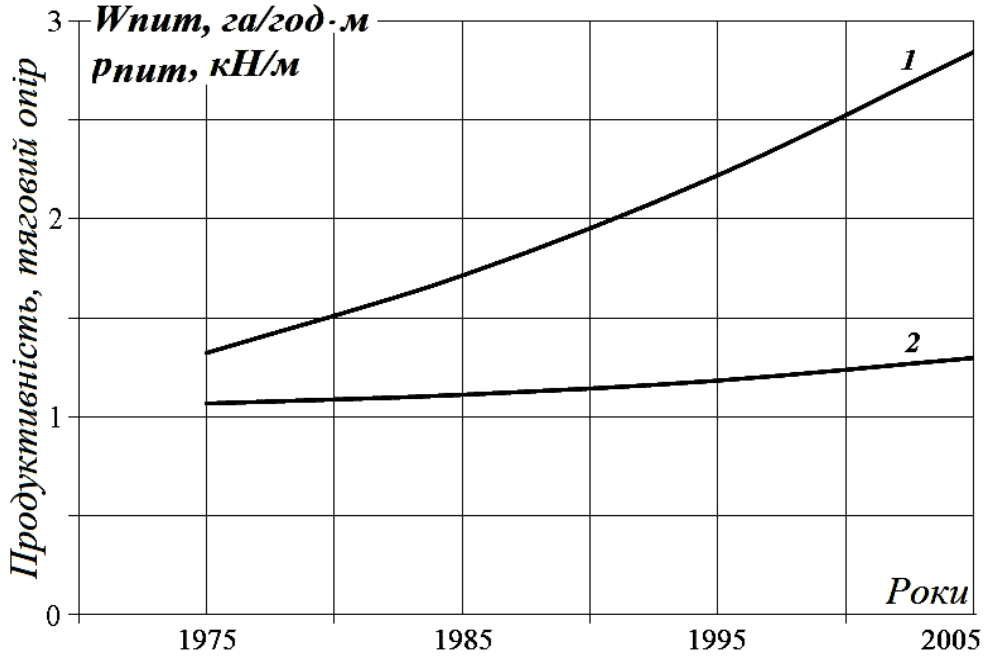


Рисунок 2.18 – Динаміка зміни питомого тягового опору $p_{пит}$ (*1*) і питомої продуктивності $W_{пит}$ (*2*) зернових сівалок з ПЦВС (*джерело: розроблено автором*)

Оскільки крива питомої продуктивності зернових сівалок, згідно рис. 2.17, стабілізувалася після 1985 року із середнім значенням 1,111 га/год×м , то можна визначити умовний момент досягнення граничного критерію ефективності для сівалок з механічними висівними апаратами по часу і який припадає приблизно на 1985…1990 роки.

Як вже зазначалося, цей період часу корелює з дослідженнями [34], де розглянуто функціональні та часові моделі змінної $W_З$ і чистої $W_Ч$ видів продуктивності для термінального прогнозу динаміки зміни продуктивності зернових сівалок з механічними висівними апаратами.

Виходячи з рис. 2.17, можна зробити висновок, що питомий тяговий опір зернових сівалок з механічними висівними апаратами зростає непропорційно їх питомій продуктивності, що тягне за собою прогресуюче збільшення витрат при непропорційному зниженні віддачі.

Знайдена закономірність є окремим випадком закону спадної продуктивності основних фондів [114], або загальновідомого закону збиткової родючості. Згідно роботі [50], у загальному випадку в сільськогосподарському виробництві

спостерігається зменшення приросту виходу продукції в енергетичних одиницях $E_{вих}$, щодо вкладеної енергії $E_{вх}$ при повній механізації та вдосконалення технологій. Зростання втрат $E_{вт}$ зумовлене неповним знанням механізмів явищ, неоптимальністю і невпорядкованістю процесів, відсутністю оперативного управління процесами і системного підходу при розробці технічних засобів.

2.11 Аналітичне визначення критерію ефективності конструкцій і робочого процесу посівних машин

З'ясуємо фізичний зміст запропонованого критерію ефективності, привівши до системи СІ одиниці виміру показників:

$$\left[\frac{p_{пит}}{W_{пит}}\right] = \frac{Н}{м} \div \frac{га}{год \cdot м} = \frac{Н}{м} \times \frac{год \cdot м}{га} = Н \cdot \frac{год}{га} = м \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot \frac{с}{м^2} = \frac{кг}{с \cdot м}. \quad (2.8)$$

Встановлена одиниця виміру критерію за системою СІ відповідає умовній динамічній в'язкості μ^* і характеризує опір середовища зміщенню його шарів. Тому, виходячи з визначення коефіцієнта динамічної в'язкості, фізичний зміст запропонованого критерію полягає в здатності машини долати опір робочому процесу з максимальною ефективністю. Отже, конструктивні і технологічні показники машин, в тому числі і зернових сівалок можуть порівнюватися на основі даного критерію.

Згідно роботі [21], всебічні і глибокі знання механіки сипких матеріалів є вихідною передумовою вдосконалення і створення нових принципів робочих органів сівалок. В роботі [153] показано, що моделі, які описують технологічні процеси в системних дослідженнях, також описують передавання механічної енергії по зв'язкам між елементами та з навколишнім середовищем. Тому такі моделі повинні включати в себе реологічну модель технологічних матеріалів, яка найбільш вірогідно проявляє себе при взаємодії з робочими органами, а також описує енергетичний стан технологічних матеріалів при їх обробці в робочому просторі машини.

В даному разі щодо ґрунту та посівного матеріалу сила опору, з урахуванням зчеплення їх частинок, описується законом Амонтона – Кулона [28, 46, 49]:

$$T = F_3 f + \tau_0 S, \tag{2.9}$$

де F_3 - зрушуюча сила, Н;

f - коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого тіла;

τ_0 – початковий опір зсуву, Н/м^2;

S - площа, по якій відбувається зсув, м^2.

Згідно робіт [149, 150], гідромеханічні аналогії дають можливість застосувати розроблені теорії гідромеханіки рідини для поглибленого вивчення робочих процесів сільгоспмашин, з метою отримання робочих органів, які є оптимальними по енергетичним показникам.

Тому з іншого боку, виходячи з гідродинамічних подібностей, опір робочому процесу зернової сівалки можна виразити з використанням поняття неньютонівської рідини, що відіграє роль умовного середовища і визначає витрати енергії на роботу сівалки (тобто дія в'язкості подібна сухому тертю). Зазначимо, що у випадку неньютонівської рідини при її русі, в'язкість (в даному випадку розглянутий критерій ефективності) залежить від градієнта швидкості. Таким чином, ефективність робочого процесу, що визначається даним критерієм, залежить від швидкості. Тоді сила опору може бути виражена рівнянням Шведова-Бінгама, що описує модель середовища з ненульовою напругою зсуву:

$$T = \tau_0 S \pm \mu S \frac{dV}{dh}, \tag{2.10}$$

де dV/dh – градієнт швидкості, що визначає зміну швидкості по перерізу.

Розділивши складові рівняння (2.10) на площу S, отримаємо:

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{dV}{dh}, \tag{2.11}$$

де τ - дотичні напруження при зсуві.

Виразивши в'язкість з рівняння (2.11), отримаємо:

$$\left[\frac{p_{num}}{W_{num}}\right] \Rightarrow \mu = \frac{(\tau - \tau_0)dh}{dV}. \quad (2.12)$$

Прирівнюючи у рівнянні (2.12) $h = B$ (ширина захвату машини), отримаємо:

$$\left[\frac{p_{num}}{W_{num}}\right] = \frac{(\tau - \tau_0)dB}{dV}. \quad (2.13)$$

Або:

$$\left[\frac{p_{num}}{W_{num}}\right] = \frac{\tau B - \tau_0 B}{V}. \quad (2.14)$$

В отриманому виразі (2.14) величина початкового опору зрушенню τ_0 відноситься до сипких матеріалів, задіяних в робочому процесі, тобто до насіння, добрив і ґрунту. Для посівного матеріалу значення τ_0 наводиться в джерелах [37, 51, 52, 74], а для ґрунту, підготовленого до сівби – визначається експериментально (розділ 5).

Виходячи з виразів (2.13), (2.14) можна зробити висновок, що розглянутий критерій ефективності, еквівалентний коефіцієнту динамічної в'язкості, прямо пропорційний дотичним напруженням в робочому процесі по ширині захвату сівалки, які в основному визначають збільшення тягового опору, і обернено пропорційний швидкості руху.

З виразів (2.13), (2.14) також випливає, що для поліпшення розглянутого критерію ефективності треба розвивати якісний інтенсивний напрямок розвитку посівних машин, що, зокрема, виражається підвищенням швидкості робочого процесу висіву.

Отримані дані і залежності не суперечать результатам роботи [75], встановленим для орних агрегатів. Питома витрата енергії на оранці із зростанням енергонасиченості тракторів і зі збільшенням ширини захвату також

збільшується. Це означає, що застосування широкозахватних агрегатів тягне за собою підвищення енергоємності робіт. Великий вплив на енергоємність надає робоча швидкість агрегату: з її збільшенням енергоємність зменшується приблизно на 47% у порівнянні із збільшенням ширини захвату.

Отже із збільшенням швидкості руху продуктивність зростає більш інтенсивно, ніж тяговий опір. Таким чином, з точки зору енергетики, підвищення продуктивності за рахунок збільшення швидкості краще, ніж за рахунок збільшення ширини захвату [75].

Однак для посівних МТА можна зробити припущення, що даний результат буде меншим внаслідок більш слабкої несучої здатності агрофону на сівбі.

Для перевірки цього розглянемо динаміку зміни техніко-експлуатаційних показників конструкцій та роботи зернових сівалок, в залежності від збільшення ширини захвату і підвищення робочих швидкостей.

Збільшення ширини захвату розглянемо на прикладі сімейства зернових сівалок типу СЗ. При цьому визначимо техніко-експлуатаційні показники для моноблочних сівалок СЗ-3,6 та СЗ-5,4. Зазначимо, що для сівалок Astra-6 показники представлені в розділі 6. Розрахункову швидкість руху сівалок з різною шириною захвату приймаємо $V_p \approx 3{,}33$ м/с (12 км/год). Розрахунок проведемо на підставі залежностей (6.1) - (6.12).

Вихідні дані прийнято згідно [8, 19, 29, 53, 125] та додаткам Б…Ж. Вихідні дані та результати розрахунків представлено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Вихідні дані і результати розрахунків динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників сівалок в залежності від ширини захвату

Показник	Позначення, од. вим.	Значення	Показник	Позначення, од. вим.	Значення
1	2	3	4	5	6
Сівалка СЗ-3,6			Сівалка СЗ-5,4		
Ширина захвату	B, м	3,6	Ширина захвату	B, м	5,4

Продовження таблиці 2.8

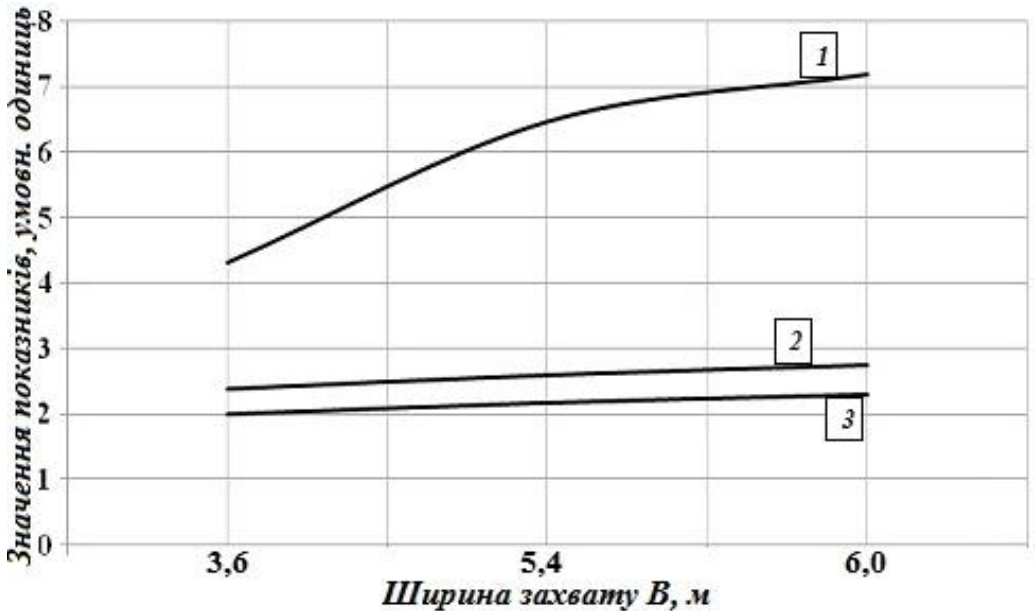
1	2	3	4	5	6
Конструкт. маса	$m_к$, кг	1400	Конструкт. маса	$m_к$, кг	2549
Матеріаломісткість	$m_{пит}$, кг/м	389	Матеріаломісткість	$m_{пит}$,кг/м	472
Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340	Маса насіння	$m_{нас}$, кг	510
Експлуат. вага	$G_с$, Н	17069	Експлуат. вага	$G_с$, Н	30000
Опір перекочуванню	$R_п$, Н	3755	Опір перекочуванню	$R_п$, Н	6602
Опір сошників	$R_с$, Н	3600	Опір сошників	$R_с$, Н	5400
Потужність для приводу висівних апаратів	$N_{ВА}$, Вт	420	Потужність для приводу висівних апаратів	$N_{ВА}$, Вт	630
Коефіцієнт перевантаження	v	1,15	Коефіцієнт перевантаження	v	1,15
Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0,55	Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0,55
Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	28649	Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	46686
Потужність двиг.	$N_д$, Вт	52089	Потужність двиг.	$N_д$, Вт	84,9
Питома енергоємн.	$E_с$, кВт/м	14,5	Питома енергоємн.	$E_с$, кВт/м	15,7
Питомий тяговий опір	$P_{пит}$, кН/м	2,39	Питомий тяговий опір	$P_{пит}$, кН/м	2,60
Теоретична продуктивність	$W_т$, га/год	4,32	Теоретична продуктивність	$W_т$, га/год	6,47
Питома продуктивність	$W_{пит}$, га/год	1,20	Питома продуктивність	$W_{пит}$, га/год	1,20
Критерій ефективності	$P_{пит}/W_{пит}$ кг/с×м	2,0	Критерій ефективності	$P_{пит}/W_{пит}$ кг/с×м	2,17

Підвищення швидкості руху сівалок розглянемо на прикладі сівалки СЗ-3,6 з шириною захвату B = 3,6 м. Розрахунок проведемо на підставі залежностей (6.1) – (6.12). Вихідні дані і результати розрахунків представлені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Вихідні дані і результати розрахунків динаміки зміни показників роботи сівалки СЗ-3,6 в залежності від швидкості руху

Показник	Позначення, од. вим.	Значення	Показник	Позначення, од. вим.	Значення
Швидкість руху $V_p \approx 2{,}5$м/с (9 км/год)			Швидкість руху $V_p \approx 4{,}17$м/с (15 км/год)		
Ширина захвату	B, м	3,6	Ширина захвату	B, м	3,6
Конструкт. маса	$m_к$, кг	1400	Конструкт. маса	$m_к$, кг	1400
Матеріаломісткість	$m_{пит}$, кг/м	389	Матеріаломісткість	$m_{пит}$, кг/м	389
Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340	Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340
Експлуат. вага	G_c, Н	17069	Експлуат. вага	G_c, Н	17069
Опір перекочув.	$R_п$, Н	3755	Опір перекочув.	$R_п$, Н	3755
Опір сошників	$R_с$, Н	3600	Опір сошників	$R_с$, Н	3600
Потужність для приводу ВА	$N_{ВА}$, Вт	315	Потужність для приводу ВА	$N_{ВА}$, Вт	525
Коефіцієнт перевантаження	v	1,10	Коефіцієнт перевантаження	v	1,20
Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0,55	Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0,55
Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	20573	Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	37434
Потужність двиг.	$N_д$, Вт	37405	Потужність двиг.	$N_д$, Вт	68062
Питома енергоємн.	E_c, кВт/м	10,4	Питома енергоємн.	E_c, кВт/м	18,9
Питомий тяговий опір	$P_{пит}$, кН/м	2,29	Питомий тяговий опір	$P_{пит}$, кН/м	2,49
Теоретична продуктивність	$W_т$, га/год	3,24	Теоретична продуктивність	$W_т$, га/год	5,40
Питома продуктивність	$W_{пит}$, га/год	0,90	Питома продуктивність	$W_{пит}$, га/год	1,50
Критерій ефективності	$P_{пит}/W_{пит}$ кг/с×м	2,54	Критерій ефективності	$P_{пит}/W_{пит}$ кг/с×м	1,60

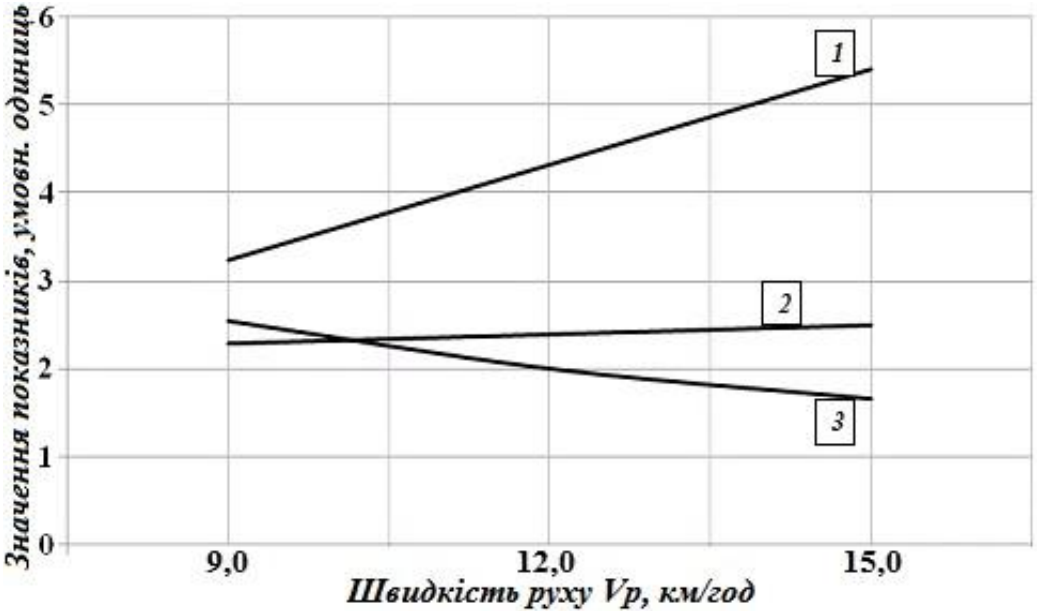
Графічні залежності динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників зернових сівалок представлені на рис. 2.19 - 2.22.



1 – теоретична продуктивність W_m, га/год; *2* – питомий тяговий опір $p_{пит}$, кН/м; 3 – критерій ефективності $p_{пит}/W_{пит}$

Рисунок 2.19 – Залежність динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників зернових сівалок типу СЗ від збільшення ширини захвату

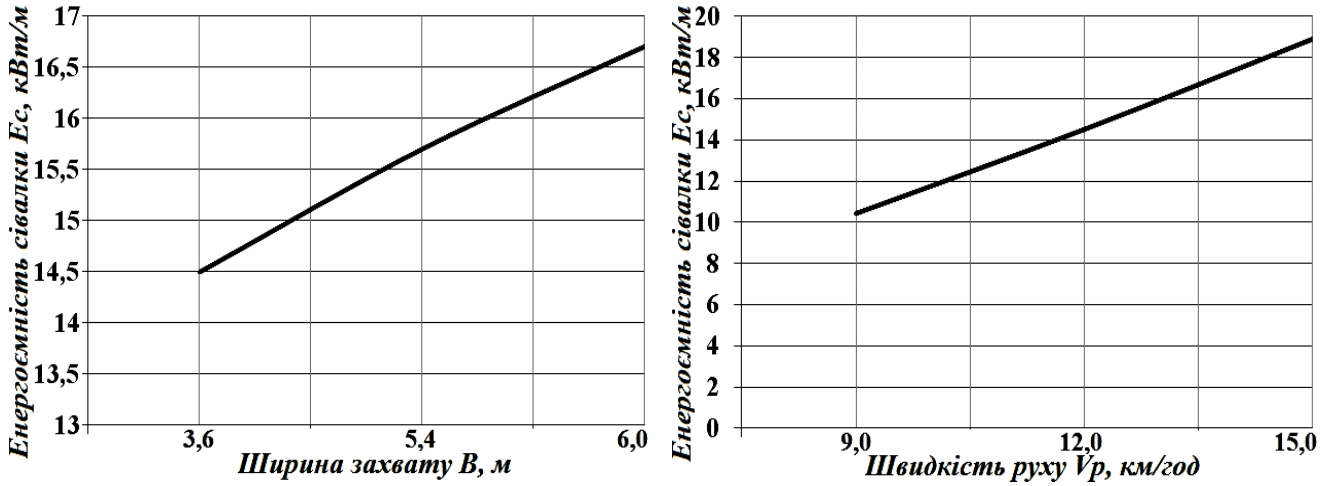
(*джерело: розроблено автором*)



1 – теоретична продуктивність W_m, га/год; *2* – питомий тяговий опір $p_{пит}$, кН/м; *3* – критерій ефективності $p_{пит}/W_{пит}$

Рисунок 2.20 – Залежність динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників зернової сівалки СЗ-3,6 від збільшення швидкості руху

(*джерело: розроблено автором*)



а *б*

Рисунок 2.21 – Залежність динаміки зміни питомої енергоємності зернових сівалок: при підвищенні ширини захвату (*а*); при збільшенні швидкості руху (*б*) (*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи дані табл. 2.8, 2.9 і представлені графічні залежності (рис. 2.19-2.21) встановлено, що у разі підвищення швидкості руху питомий тяговий опір зернових сівалок зростає менш інтенсивно, ніж при збільшенні ширини захвату.

Це не суперечить даним роботи [170], згідно яким залежність тягового опору сівалки від збільшенні маси сівалки є нелінійною, а при збільшенні швидкості руху тяговий опор змінюється за лінійною залежністю.

Також згідно роботі [1], питомий тяговий опір для більшості сільськогосподарських знарядь із збільшенням швидкості руху збільшується за законом, близьким до лінійного, або його може бути лінеаризовано, що не суперечить отриманій залежності, представленій на рис. 2.20.

Також в роботі [142] зроблено висновок у вигляді рекомендацій виробництву, що обробку вологих ґрунтів (що відноситься і до сівби, особливо у весняний період) необхідно здійснювати на підвищених швидкостях, підбираючи відповідні агрегат з оптимальною шириною захвату.

Встановлені залежності не суперечать даним роботи [92], у якій наводяться відомості про ефективність підвищення швидкостей руху МТА до 15 км/год, Однак в цій же роботі також зазначена необхідність впровадження нової техніки для сівби на підвищених швидкостях.

Розглянутий критерій ефективності при збільшенні ширини захвату збільшується внаслідок приросту тягового опору і зростання дотичних напружень. При збільшенні швидкості руху він зменшується, що свідчить про перевагу збільшення швидкостей руху для підвищення продуктивності посівних агрегатів, внаслідок зменшення буксування та тої обставини, що з підвищенням швидкості скорочується тривалість впливу деформуючих сил на ґрунт і технологічні матеріали, що недостатньо для їх повного деформування [148].

Але як показано на рис. 2.21, при збільшенні швидкостей руху має місце більш інтенсивний приріст питомої енергоємності роботи зернових сівалок. Однак у разі підвищення ширини захвату в значній мірі (на 18%) зростає питома матеріаломісткість зернових сівалок (табл. 2.8). При цьому, згідно роботі [1], загальним для всіх машин і знарядь, включаючи зернові сівалки, є зниження величини їх ККД по мірі збільшення швидкості руху агрегату. Ця обставина виступає негативним явищем при підвищенні швидкостей руху, вимагає аналізу і дослідження способів мінімізації негативного ефекту.

Тому при визначенні режиму роботи посівного МТА провести графічне дослідження відповідних показників ефективності.

З цією метою представимо суміщену характеристику посівного МТА, подану на рис. 2.22. Зазначимо, що на ньому прийняті тягові показники трактора МТЗ-82 з баластним вантажем масою 4840 кг, за даними випробувань на полі, підготовленому до сівби, за результатами роботи [115].

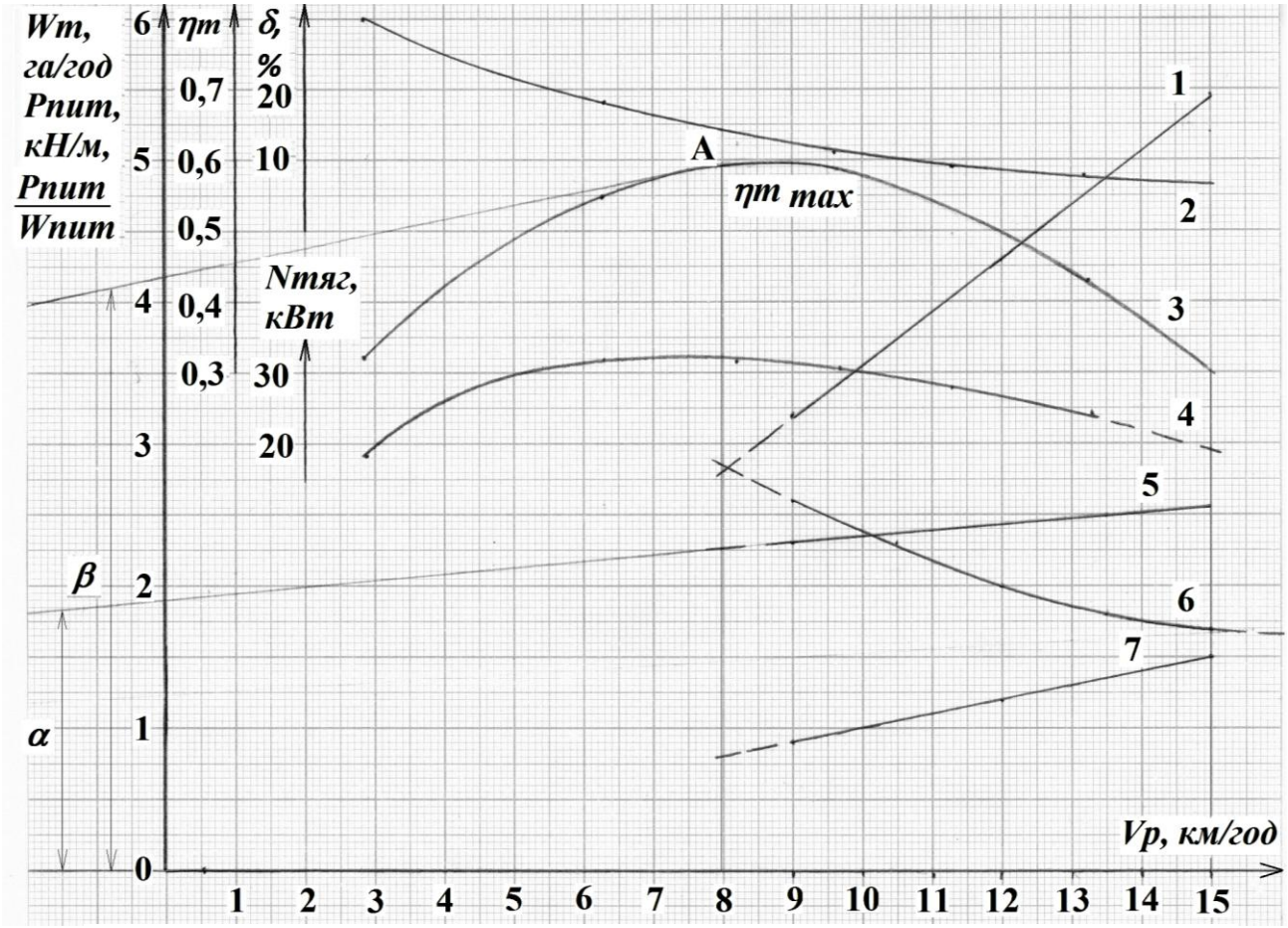
Покажемо, що при лінійній зміні опору зернової сівалки в залежності від швидкості, завдання знаходження оптимальних значень показників ефективності зводиться до наступних графічних побудов:

- пряму 5, що зображає залежність опору зернової сівалки від швидкості, продовжуємо до перетину з абсцисою в т.O_1 (т.O_1 умовно не показана. На реальному графіку відстань OO_1 становить 407 мм). При цьому кут нахилу прямої *5* до осі абсцис $\alpha = 6^0$;

- з точки O_1 проводимо дотичну до залежності *3*, що відображає динаміку значень тягового ККД трактора, кут нахилу дотичної до осі абсцис $\beta = 12^0$.

Знайдена таким чином точка дотику *A* на кривій *3* ККД відповідає режиму оптимальної швидкості руху тягового ККД даного трактора.

Наслідком з наведених міркувань є відомий факт, згідно роботі [1], щодо розбіжностей режимів максимальної продуктивності МТА з режимом максимального тягового ККД трактора. В результаті зростання сили опору будь-якого сільськогосподарського знаряддя максимум продуктивності завжди зміщений в зону менших швидкостей руху і підвищених тягових зусиль, що реалізуються підвищенням ширини захвату МТА. Очевидно, що розбіжність тим більше, чим більше змінюються по швидкості тяговий ККД трактора і опір знаряддя.



1 – теоретична продуктивність W_m, га/год; *2* – буксування трактора δ, %;

3 – тяговий ККД трактора η_m; *4* – тягова потужність трактора N_m, кВт;

5 – питомий тяговий опір p_{num}, кН/м; *6* – критерій ефективності p_{num}/W_{num};

7 – питома продуктивність W_{num}, га/год×м

Рисунок 2.22 – Суміщена характеристика посівного МТА

(*джерело: розроблено автором*)

Отже виходячи з рис. 2.22, для розглянутого посівного агрегату максимальний тяговий ККД відповідає швидкості руху V_p = 8 км/год при максимальній тяговій потужності N_m = 31,8 кВт, а швидкісному режиму V_p=15 км/год – відповідає тяговий ККД η_m = 0,3 і тягова потужність трактора N_m=18 кВт, що в два рази нижче необхідної для сівалки при даній швидкості руху.

Однак тут мають місце і позитивні тенденції. Як випливає з рис. 2.22, при підвищенні швидкості руху в два рази знижується буксування трактора (з 14 до 7%), у два рази зростає продуктивність МТА (з 2,8 до 5,4 га/год) і в 1,8 рази поліпшується запропонований показник ефективності посівної машини (з 2,85 до 1,6 Н·год/га), який має тенденцію до стабілізації (залежність *6* на рис. 2.2) при значенні 1,6 Н·год/га, що відповідає виразу (2.7).

Отже, для покращення динаміки показників роботи трактора, щодо тягових ККД, і потужності, щодо енергоємності робочого процесу посівного МТА при підвищенні швидкостей руху, а також для зниження матеріаломісткості зернових сівалок при підвищенні ширини захвату, необхідно приймати відповідні конструктивно-технологічні заходи - підвищувати ККД машин, розробляючи їх менш матеріало- і енергоємними.

З цією метою, для перспективних зернових сівалок пропонується застосування компонувальної схеми групового висіву з малоенергоємними висівними апаратами вепольного дискретного принципу дії, згідно розділу 1.

Зважаючи на те, що висівні апарати вепольного вібродискретного принципу дії не можуть бути застосовані в компонувальних схемах з груповим висівом через труднощі з подачею насіння по насіннєпроводам при значних кутах їх нахилу, то перспективним буде застосування дискретних висівних апаратів з елементами пневмоніки. Зернові сівалки з такими висівними апаратами при інших рівних умовах мають більш низьку (на 13%) енергоємність робочого процесу, у порівнянні з іншими видами сівалок.

Таким чином, питому енергоємність роботи зернової сівалки при 15 км/год (E_c=18,9 кВт/м) можливо знизити на 13%, або на 2,3 кВт/м, що дасть у результаті значення енергоємності E_c = 16,6 кВт/м, або економію потужності двигуна у

8,3 кВт, при ширині захвату 3,6 м, або економію тягової потужності приблизно 17 кВт при тяговому ККД η_m = 0,5, який можливо підвищити поліпшенням тягово-зчіпних властивостей трактору.

Із застосуванням зернових сівалок з компонувальною схемою групового висіву і висівними апаратами на основі нових механіко-технологічних принципів дії можна вважати енергетично обґрунтованим підвищення робочих швидкостей руху, без суттєвого приросту питомої енергоємності робочого процесу.

2.12 Функціонально-структурний аналіз систем автоматизації та управління нормою висіву

2.12.1 Структурний синтез мехатронного модуля управління висівом

Структурна складність в загальному випадку визначається кількістю елементів, що з'єднуються, кількістю та інтенсивністю їх взаємозв'язків [71, 84]. Тому рішення завдання визначення структурної схеми та побудови мехатронного модуля можна трактувати як рішення проблеми інтерфейсів і завдання мінімізації структурної складності методом виключення [84].

Метою цього методу інтеграції є виключення проміжних перетворювачів. З традиційної структури виключається, принаймні, один проміжний блок і відповідні інтерфейси. При цьому зберігається функціональне перетворення, що виконується отриманим мехатронним модулем в цілому, його вхідні та вихідні змінні. Ця мета може бути досягнута на тому етапі розробки систем управління, коли здійснюється синтез структури мехатронних модулів.

В основі розглянутого методу лежать наступні фундаментальні напрямки теорії системного проектування складних систем [84]:

- функціонально-структурний аналіз і еволюційний синтез технічних систем;
- структурний синтез і оптимізація технічних систем за критеріями складності.

Завданням функціонально-структурного аналізу систем управління висівом є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні

перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків та визначення такої структури, яка дозволить системі виконувати визначені функціональні завдання з максимальною ефективністю за критеріями якості [14].

В якості вихідної структури розглянемо теоретичну схему на рис. 2.23, запропоновану в роботах [18, 132], яка реалізується в розглянутих в розділі 1 традиційних електро- або гідроприводах з комп'ютерним управлінням.

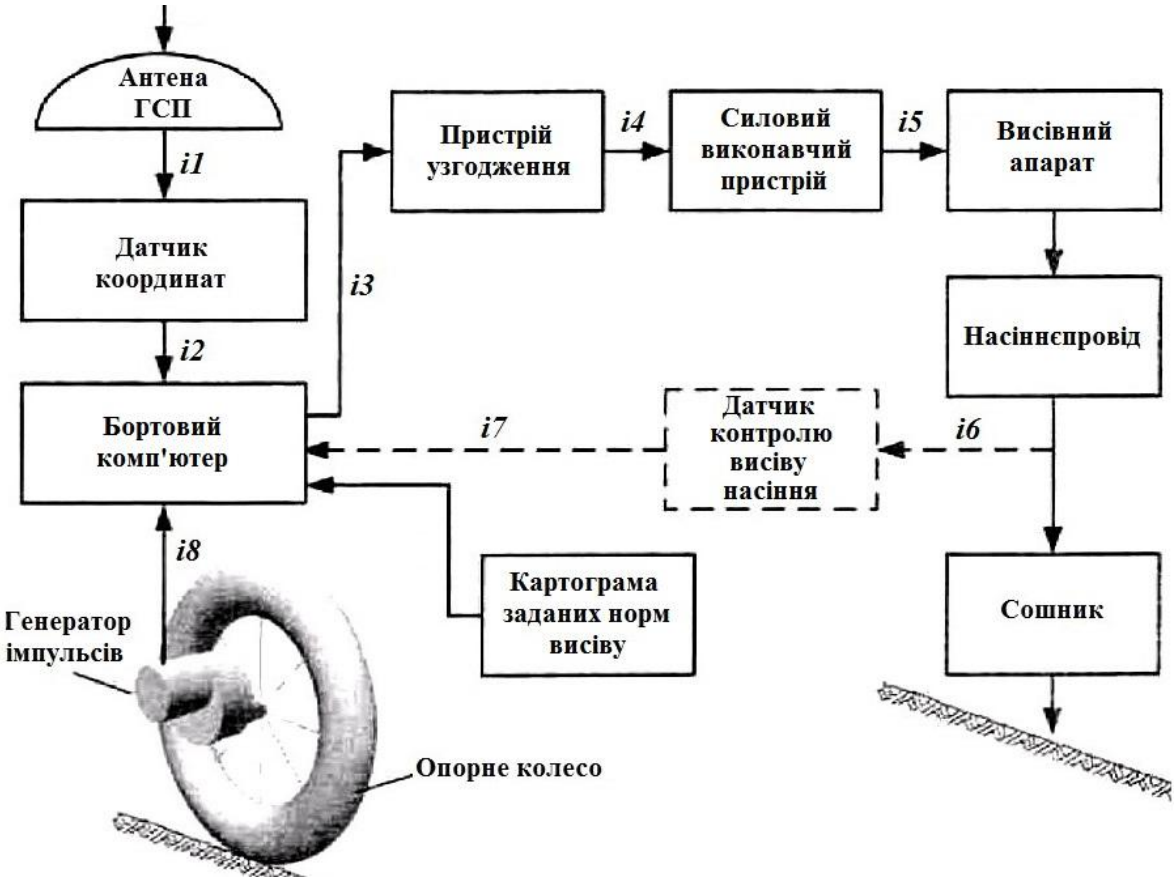


Рисунок 2.23 – Вихідна структурна модель місцевизначеного посіву

(*джерело: розроблено в [18], с. 14*)

Вихідна структурна модель включає в себе наступні елементи:

- датчик координат з антеною ГСП для отримання інформації про місцезнаходження посівного агрегату в полі;
- бортовий комп'ютер, функціональним завданням якого є регулювання норми висіву на основі інформації про місцезнаходження посівного агрегату і поточної інформації про задану норму висіву в даній точці поля, значення якої надходить від картограми-завдання;

- пристрій узгодження, що представляє собою цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), який реалізує функцію інформаційно-електричного перетворення для передачі управляючого сигналу від бортового комп'ютера на силовий виконавчий пристрій;
- силовий виконавчий пристрій, що представляє собою керований електродвигун з механічним приводним елементом, виконуючим електромеханічне перетворення, що керує технологічним режимом роботи висівного апарата;
- пристрій, що реалізує заданий управляючий рух або робочий орган, що взаємодіє із зовнішніми об'єктами, в даному випадку висівний апарат зернової сівалки;
- пристрій зворотного зв'язку, або датчик контролю висіву, який дає інформацію про реальну інтенсивність потоку насіння в даний момент часу;
- інтерфейсні пристрої, позначені на структурній моделі як *i1-i8*.

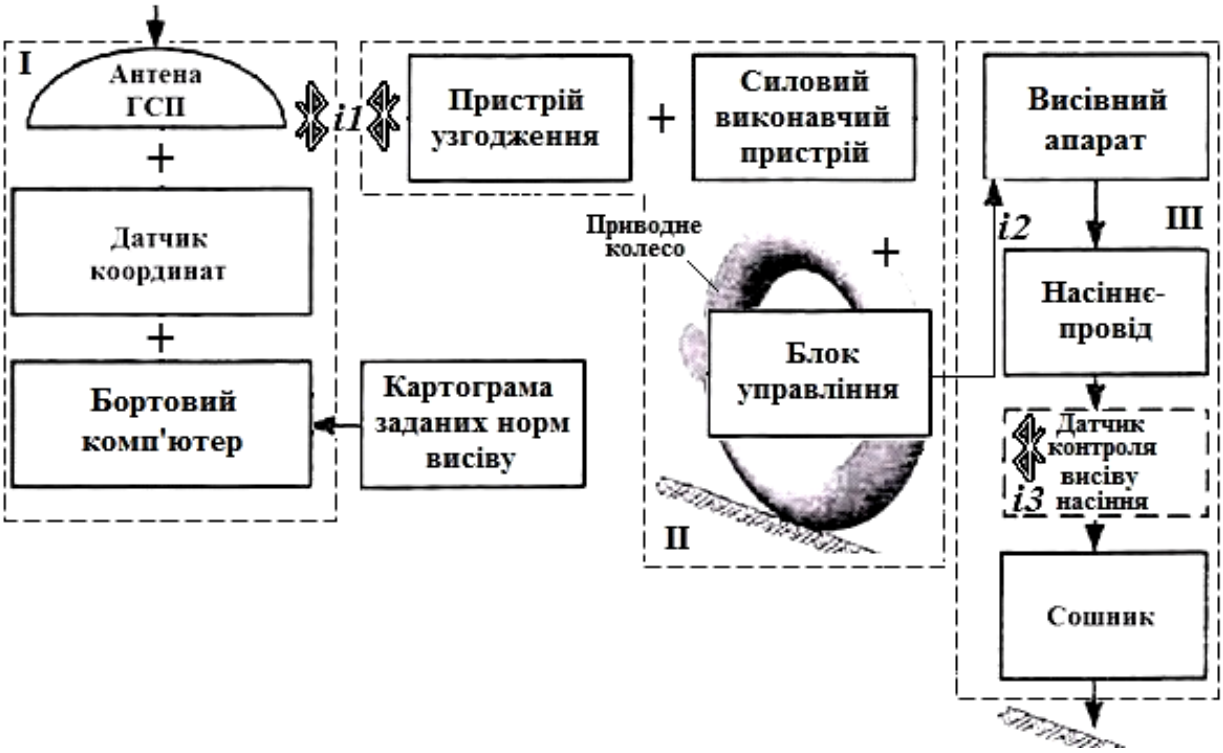
Тут інтерфейси є відокремленими пристроями. Тому їх виготовлення і налагодження стає серйозною проблемою для розробника, особливо, коли потрібно надійно з'єднати нестандартні і спеціалізовані елементи різних виробників.

У вихідній моделі реалізується шість функціональних перетворень: моноенергетичні інформаційне і механічне (де вхідні і вихідні змінні мають одну і ту ж фізичну природу), дуальні інформаційно-електричне, електромеханічне, а також електро-інформаційне та механіко-інформаційне перетворення в колах зворотного зв'язку.

На основі вихідної структурної моделі запропоновано структурну модель з мехатронним модулем (рис. 2.24). Мехатронні модулі відрізняються високим ступенем інтеграції елементів, причому ці рішення закладаються вже на стадії розробки і виготовлення.

У даній структурній моделі датчик координат з антеною ГСП і бортовий комп'ютер з відповідними інтерфейсами об'єднані в одному модулі, який представляє собою мобільний обчислювальний пристрій – смартфон або планшет з операційною системою. Пристрій узгодження, силовий виконавчий пристрій і блок управління висівною системою при об'єднанні являють собою безпосередньо

мехатронний модуль. Датчик контролю висіву насіння замість проводового інтерфейсу може передавати дані по бездротовому радіозв'язку bluetooth. Інші структурні одиниці – робочий орган у вигляді висівної системи - залишаються без змін, а кількість інтерфейсних пристроїв скорочується з 8 до 3-х (*i1-i3*).



I – обчислювальний пристрій; *II* – мехатронний модуль; *III* – висівна система

Рис 2.24 – Структурна модель з мехатронним модулем для місцевизначеного посіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки (*джерело: розроблено в [14], с. 73*)

В моделі з мехатронним модулем реалізується сім функціональних перетворень: моноенергетичні інформаційне та пневматичне (де вхідні і вихідні змінні мають одну і ту ж фізичну природу), дуальні інформаційно-електричне, електромеханічне та механіко-пневматичне, а також електро-інформаційне та механіко-інформаційне перетворення.

Порівнюючи запропоновану структурну модель з мехатронним модулем і вихідну структурну модель місцевизначеного посіву, можна зробити висновок про те, що сумарна кількість основних (8) і інтерфейсних (8) блоків у вихідній

моделі значно перевищує число виконуваних функціональних перетворень (6). Іншими словами, можна говорити про структурну надлишковість вихідної моделі. Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності та точності технічної системи, погіршення її масогабаритних і вартісних показників.

Розглянуте функціональне представлення моделі з мехатронним модулем містить два інформаційних входи: програми робочого процесу та інформаційний зворотний зв'язок, і один вихід – цілеспрямований вплив на висівну систему. Отже, в загальному випадку функціональна схема з мехатронним модулем може бути побудована як інформаційно-пневмомеханічний перетворювач.

2.12.2 Метод функціонально-структурної інтеграції систем регулювання норми висіву

Аналіз функціонально-структурної інтеграції (ФСІ) розглянутих структурних схем здійснимо на основі показника ФСІ, який являє собою чисельну оцінку рівня інтеграції складових елементів [84]. При розробці систем управління слід прагнути до підвищення показника ФСІ, тобто реалізовувати найбільшу кількість функціональних перетворень мінімально можливим числом структурних елементів. Показник ФСІ розраховується за формулою:

$$I^{FS} = \frac{N_F}{N_S} - 1, \tag{2.16}$$

де N_F – число функціональних перетворень в даному структурному варіанті: для вихідної структурної моделі N_F = 6, а для структурної моделі мехатронного модуля $N_F = 7$;

N_S – число основних та інтерфейсних блоків, використовуваних у структурному варіанті: для вихідної структурної моделі N_S = 16, а для структурної моделі мехатронного модуля $N_S = 6$.

Тоді для вихідної структурної моделі отримаємо I^{FS} = -0,625, а для структурної моделі мехатронного модуля – I^{FS} = 0,167.

Отже, у загальному випадку показник I^{FS} є негативним для надлишкових структур, де число окремих структурних елементів у системі перевищує число заданих функціональних перетворень. Базова ступінь інтеграції (I^{FS} = 0) досягається при рівності між числом функціональних перетворень і виконуючих їх структурних блоків. У розглянутому випадку для структурної моделі з мехатронним модулем I^{FS} = 0,167 > 0 може бути досягнута в разі знаходження технічного рішення щодо вибору апаратних і програмних рішень для інтелектуального мехатронного модуля, в якому максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі (розділ 4).

2.12.3 Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої

Всі аспекти аналізу, класифікації та розробки систем управління не можуть бути оцінені єдиним числовим критерієм. Значний інтерес становить розподіл функцій між структурними елементами систем контролю і управління [84]. Для кількісного аналізу й оцінки систем управління вводиться спеціальна міра – показник розподілу функціонального навантаження (РФН). Показник РФН дозволяє оцінити обсяг функціонального навантаження, яке несе кожен із структурних елементів або блоків у досліджуваній системі. Чим вище значення даного показника, тим більший вплив робить даний елемент на якість системи в цілому, тобто на її вартість, надійність та інші характеристики. Показник РФН є чисельною мірою, що визначає важливість структурної одиниці на основі наявності і числа її зв'язків з іншими елементами системи. Чим вище ранг даного вузла, тим більше функціональне навантаження він несе і більше впливає на якість системи в цілому.

Визначення показників РФН розглянемо на основі методу аналізу значущості структурних елементів, розробленого на основі теорій графів та матриць. Алгоритм обчислення рангів структурних елементів і аналіз розподілу функціонального навантаження всередині системи має наступний вигляд:

1. Структурна схема досліджуваної системи представляється у вигляді орієнтованого графа $G = G(V,U)$, де множина вершин V складає структурні елементи системи, а множина ребер U відображає зв'язку між ними. Для геометричного представлення орієнтоване ребро $u \in U$ показується у вигляді стрілки, напрям якої збігається з напрямком потоку енергії або інформації між сполучуваними вершинами. Розглядаються лише зв'язні графи, в яких для будь-якої пари вершин $(vi, vj) \in V, (i, j = 1,..., n)$ існує їх шлях з'єднання.

2. Для побудованого графа формується матриця суміжності $A = A(V, U)$. Нехай структура системи містить n вершин $(X_1, X_2,..., X_n) \in V$, сполучених m ребрами $(u_1, u_2,..., u_m) \in U$. Тоді отримуємо матрицю A розміром $(n \times n)$, яка складається з нулів та одиниць. Елемент матриці $a_{ij} = 1$, якщо граф містить ребро $u_{ij} \in U$, спрямоване від вершини X_i до j-го вузла. В іншому випадку приймається, що $a_{ij} = 0$. Число одиничних елементів в матриці A дорівнює числу ребер.

3. Ранг елемента X_i визначається як сума елементів i-го рядка матриці A:

$$rang\ X_i = \sum_{j=1,n} r_{ij}. \tag{2.17}$$

Таким чином, ранг структурного елемента являє собою векторну норму першого порядку матриці R в просторі C^n (n – вимірний речовий простір). Такий вектор ще називається манхеттенським вектором, тобто його ранг розраховується підсумовуванням елементів в рядках матриці.

4. Показник РФН для структурного елемента X_i визначається виразом:

$$I_i^{DFL} = \frac{rangX_i \cdot 100\%}{\sum_{j=1,...,n} rangX_i}. \tag{2.18}$$

5. Розрахунок загального показника РФН групи елементів, що входять у певну підсистему $g \in G$, проводиться підсумовуванням показників РФН складових елементів. Наприклад, якщо задана група g складається з k елементів $(X_1, X_2,..., X_n) \in V$, тоді показник РФН групи дорівнює сумі k показників:

$$I_g^{DFL} = \sum_{j=1,..,k} I_i^{DFL}. \quad (2.19)$$

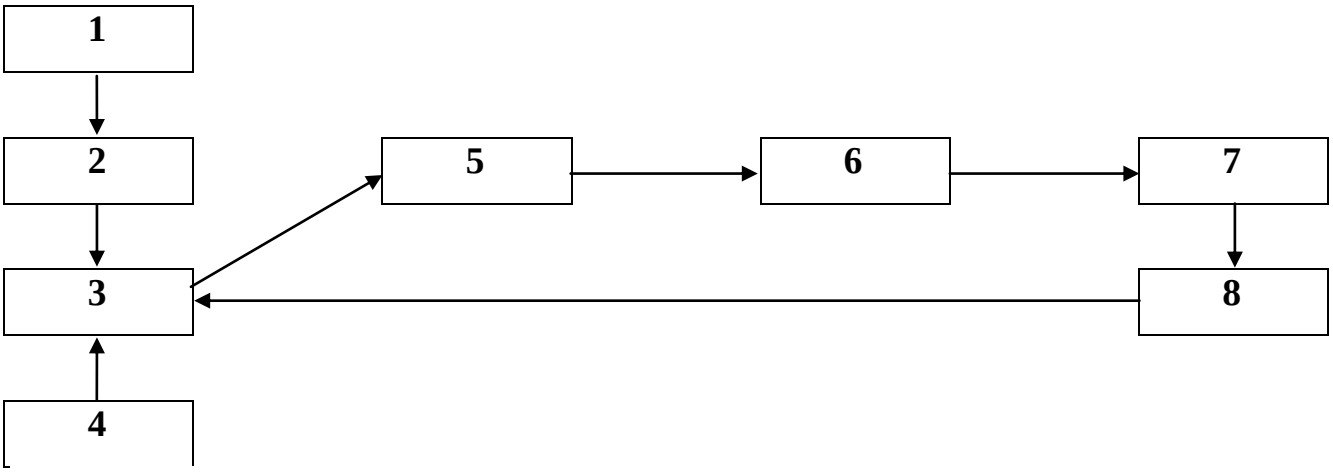
Для оцінки функціонального навантаження доцільно визначити середнє значення показника РФН для елементів даної групи:

$$\overline{I}_g = I_g^{DFL} / k. \quad (2.20)$$

6. Ранжування елементів управляючої системи проводиться на основі значень їх показників РФН і формулюється висновок про розподіл функціонального навантаження в досліджуваній системі.

Представлений алгоритм методу розрахунку показника РФН розглянемо на прикладі двох варіантів систем управління – вихідної структурної моделі місцевизначеного посіву (рис. 2.23) та структурної моделі з мехатронним модулем для місцевизначеного посіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки (рис. 2.24).

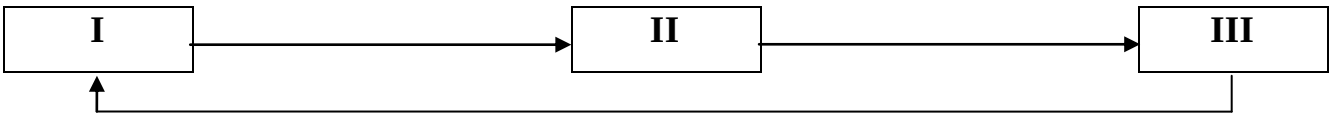
Граф G_1 (рис. 2.25) який відповідає вихідній структурній моделі місцевизначеного посіву, містить 8 вершин (n = 8) та 8 ребер (m = 8).



1 – антена ГСП; *2* – датчик координат; *3* – бортовий комп'ютер; *4* – опорне колесо з генератором імпульсів; *5* – пристрій узгодження; *6* – силовий виконавчий пристрій; *7* – висівна система; *8* – датчик контролю висіву насіння

Рисунок 2.25 – Граф вихідної структурної моделі місцевизначеного посіву (*джерело: розроблено автором*)

Для графа G_2, (рис. 2.26), розробленого для структурної моделі з мехатронним модулем, маємо $n = 3$ и $m = 3$.



I – обчислювальний пристрій; *II* – мехатронний модуль; *III* – висівна система

Рисунок 2.26 – Граф структурної моделі з мехатронним модулем

(*джерело: розроблено автором*)

Матриця відповідності $A_1(8\times8)$ для графа G_1 містить 64 елемента, 8 з яких є одиничними (по числу ребер у графі G_1), решта елементів – нулі. Одиничні значення мають такі елементи матриці A_1: *[2, 1], [3, 2], [3, 4], [3, 8], [5, 3], [6, 5], [7, 6], [8, 7]*.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,1\,0\,0\,0\,1 \\ 0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,0\,0\,1\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,0\,0\,0\,1\,0\,0 \\ 0\,0\,0\,0\,0\,0\,1\,0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Матриця відповідності $A_2(3\times3)$ для графа G_2 містить 9 елементів, 3 з яких є поодинокими (по числу ребер у графі G_2), решта елементів – нулі. Поодинокі значення мають такі елементи матриці A_2: *[1, 3], [2, 1], [3, 2]*.

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0\,0\,1 \\ 1\,0\,0 \\ 0\,1\,0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

За формулою (2.17) визначаємо ранг елементів матриць A_1 і A_2. Результати визначення рангу представлені елементів в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Результати визначення рангу елементів матриць A_1 і A_2

№ рядка	1	2	3	4	5	6	7	8
Матриця A_1								
Ранг рядка	0	1	3	0	1	1	1	1
Матриця A_2								
Ранг рядка	1	1	1	-	-	-	-	-

У відповідності з виразом (2.18) визначаємо показники РФН для усіх елементів досліджуваних моделей. Результати визначення показників РФН представлені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Результати визначення показників РФН

№ рядка	1	2	3	4	5	6	7	8
Матриця A_1								
I_i^{DFL}	0	12,5	37,5	0,0	12,5	12,5	12,5	12,5
Матриця A_2								
I_i^{DFL}	33,3	33,3	33,3	--	--	--	--	--

Розрахунок загального показника РФН груп елементів, що входять в матриці A_1 і A_2 зробимо за формулою (2.19). Для матриці A_1 отримаємо $I_g^{DFL} = 100$, для матриці A_2 $I_g^{DFL} = 100$.

Середнє значення показника РФН для матриць A_1 і A_2 визначаємо за формулою (2.20). Для матриці A_1 отримаємо $\overline{I}_g = 12,5$, для матриці A_2 $\overline{I}_g = 33,3.$ Очевидно, що середнє значення показника РФН системи управління на основі мехатронного модуля майже в 3 рази вище, ніж для вихідної структурної моделі.

Ранжування елементів структурних моделей представлено на рис. 2.27, 2.28.

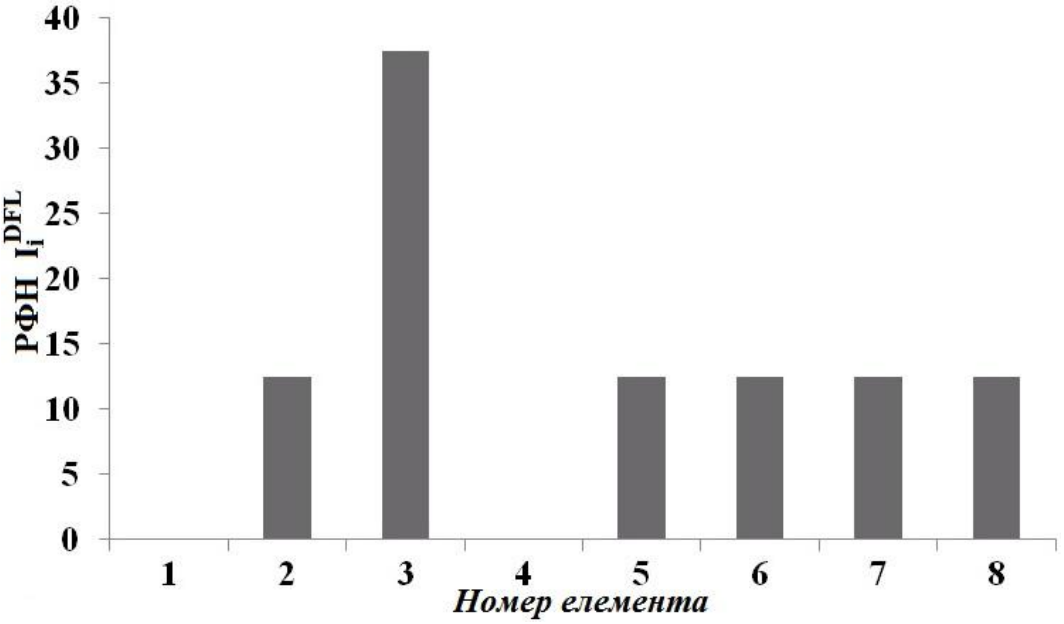


Рисунок 2.27 – Показники розподілу функціонального навантаження для елементів вихідної структурної моделі місцевизначеної сівби (*джерело: розроблено автором*)

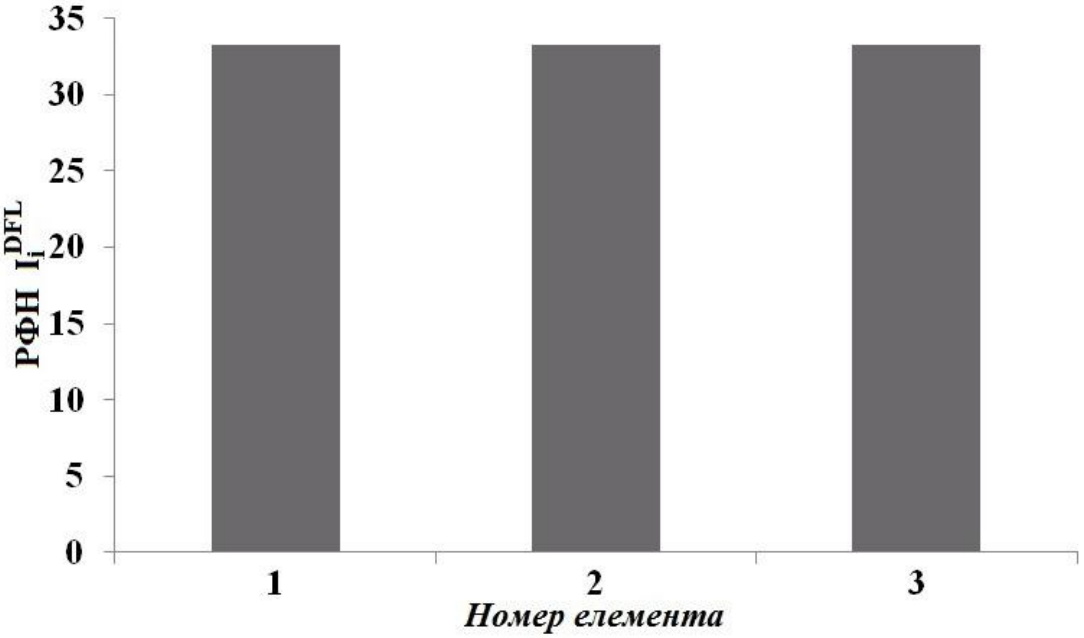


Рисунок 2.28 – Показники розподілу функціонального навантаження для елементів структурної моделі з мехатронним модулем (*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи рис. 2.27 і 2.28 встановлено, що в структурній моделі управління з мехатронним модулем розподіл функціонального навантаження є рівномірним, на відміну від вихідної структурної моделі.

2.13 Обґрунтування комплексного універсального критерію ефективності роботи технічних засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин

2.13.1 Методологічні основи обґрунтування комплексного універсального критерію ефективності

Як вже зазначалося у першому розділі, вибір критеріїв ефективності – головне питання порівняльної оцінки рішень в дослідженнях і розробці машин. Тому для оцінки ефективності застосування СГТ необхідне зіставлення різнорідних чинників і показників на основі комплексних універсальних та узагальнених порівняльних критеріїв [147, 152], які зможуть виділити коло приватних показників ефективності, пов'язавши їх воєдино за певними правилами, підпорядкованим загальній меті оцінки.

Побудова критерію ефективності є складним процесом, що обумовлено наявністю численних вимог та багатьма підходами до вирішення даного завдання (п. 1.4.3). Існуючі наукові підходи до розробки оціночних критеріїв характеризується різночитанням, суперечливістю понять, несталою термінологією і потребують систематизації [163].

Таким чином, на основі систематизації розглянутих в п. 1.4.3 підходів до розробки критеріїв ефективності, необхідно обґрунтувати комплексний універсальний критерій ефективності. Розробка такого критерію повинна ґрунтуватися на системному аналізі об'єктів оцінки [163], а також виходячи з теорії ефективності [141, 156, 158, 163, 166], яка ґрунтується на тому, що для оцінки ефективності необхідний не абсолютний (такий, як продуктивність, п. 1.3), а відносний критерій оцінки ефективності, а саме – відношення витрат до ефективності [138, 166]. До того ж такий критерій ефективності повинен мати фізичний зміст, який пов'язує його з природничо-науковою стороною робочих процесів сільгоспмашин і дає змогу визначити шляхи покращення їх ефективності, виходячи з фундаментальних фізичних основ.

Також в даний час набуває значимість розробка критеріїв, що дають однозначну відповідь – якому напрямку відповідають модернізовані і новостворювані машини: екстенсивному або інтенсивному [157].

2.13.2 Визначення виду та чисельного значення комплексного універсального критерію ефективності на основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників роботи технічних засобів механізації

Наявні дані, представлені в розділі 1 та в п. 2.10, 2.11 техніко-фізичні показники та критерії ефективності роботи зведено до табл. 2.12 для їх систематизації. Для порівняння у таблиці додатково представлено показники та критерії ефективності, пропоновані дослідниками інших технічних засобів механізації сільськогосподарського виробництва, з метою порівняльного аналізу.

Таблиця 2.12 – Техніко-фізичні показники та критерії ефективності роботи сільськогосподарської техніки

№	Показник або критерій ефективності	Познач. і технічна одиниця виміру	Фізична одиниця виміру	Фізичний категорія, відповідна показнику або критерію
1	2	3	4	5
Розглянуті і отримані в роботі показники та критерії ефективності				
1	Продуктивність	W, га/год	$м^2/с$	Кінематичний коєфіцієнт в’язкості
2	Швидкість руху	v, м/с	м/с	Швидкість
3	Ширина захвату	B, м	м	Довжина
4	Конструктивна маса	$m_к$, кг	кг	Маса
5	Матеріалоємність	$m_{пит}$, кг/м	кг/м	-
6	Тяговий опір	$p_{пит}$, Н/м	Н/м, $кг/с^2$	Жорсткість
7	Енергоємність машини	$E_м$, Вт/м	Вт/м	-
8	ККД	η	-	ККД
9	Коефіцієнт технічного рівня	$k_{тр}$, $с^3/(кг×м)$	$с^3/(кг×м)$	-
10	Пропонований критерій ефективності	$p_{пит}/W_{пит}$, (Н×год)/га	кг/м×с	Динамічний коєфіцієнт в’язкості

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
11	Мінімум питомих енерговитрат при робочому ході агрегату (питомий тяговий опір)	$E_{пит}$, Дж/м^2	Н/м, кг/с^2	Жорсткість
12	Відносна питома енергоємність робіт, виконуваних МТА (питомий тяговий опір)	$E_{пит}$, Вт/(га/год)	Н/м, кг/с^2	Жорсткість
13	Відношення тягового ККД до питомого тягового опору	$\eta_m/p_{пит}$, м/(Н/м)	(кг/с^2)$^{-1}$	-
14	Відношення сил, виконуючих корисну роботу до загального тягового опору [1]	ККД знаряддя $\eta_{зн}$	-	ККД
15	Відношення продуктивності до конструктивної маси	$W/m_к$, (га/год)/кг	м^2/(кг×с)	-
16	Комплексна оцінка агрегату	$П_{NG}$ -	кг^2/(с×м^2)	-
Додаткові показники та критерії ефективності				
17	Мінімум питомого імпульсу сили тяжіння і дотичної сили тяги трактора на одиницю обробленої площі, згідно [148]	I, (кгм/с)/м^2	кг/м×с	Динамічний коєфіцієнт в'язкості

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
18	Динамічний модуль пружної деформації, згідно [164]	η, (Н×с)/м^2	кг/м×с	Динамічний коєфіцієнт в'язкості
19	Питома пропускна здатність молотарки комбайну, згідно [34]	q, (т/год)/м	кг/с×м	Динамічний коєфіцієнт в'язкості
20	Енергоємність технологічної операції на оранці, згідно [162]	K, Дж/м^3	Па, кг/мс^2	Тиск, модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга)
21	Енергоємність технологічної операції (питомий тяговий опір), згідно [155, 162]	K, Дж/м^2	Н/м, кг/с^2	Жорсткість

Як бачимо, більшість даних табл. 2.12 знаходяться у відношенні взаємно однозначної відповідності (ізоморфізму) з класичними фізичними категоріями, тобто вони мають однакову абстрактну структуру.

Згідно алгоритму технології конструювання інтегральних критеріїв оцінки ефективності, представленій в [141, 156, 163], коли оцінка системи пов'язана з великою кількістю критеріїв, слід згрупувати їх у взаємозалежні групи, вибрати з них найбільш важливу, а потім, досліджуючи зв'язок між критеріями у цій групі, вибрати основний критерій, з допомогою якого можна було б врахувати і інші. При цьому бажано, щоб вибраний критерій включав вимоги всіх інших критеріїв.

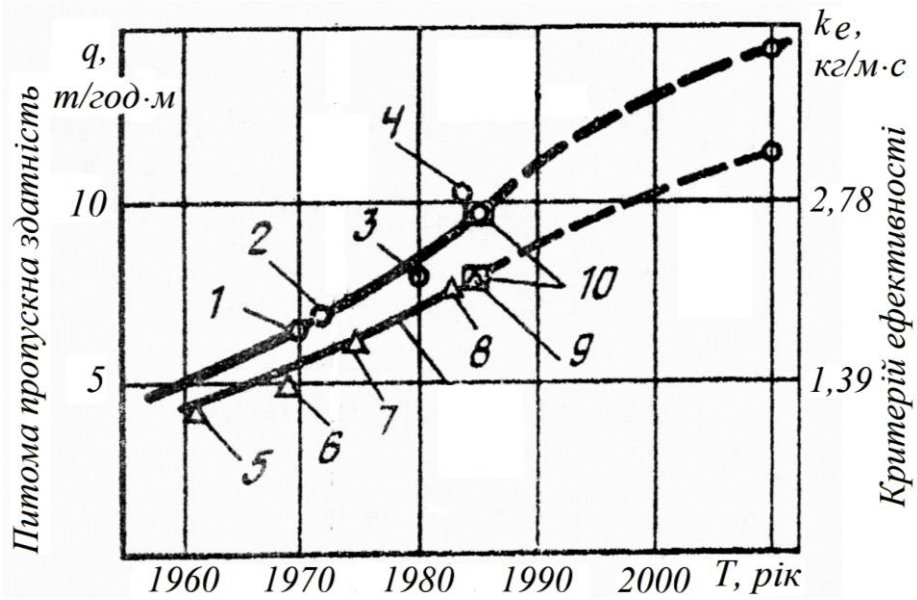
Тому виходячи з даних табл. 2.12, саме умовний динамічний коефіцієнт в'язкості, як фізичний еквівалент кількох пропонованих різними дослідниками критеріїв ефективності, відповідає поставленим вимогам. Також даний критерій ефективності узгоджується з теорією ефективності, бо технічний еквівалент в'язкості є розглянутим в п. 2.10, 2.11 співвідношенням витрат до ефективності,

тобто тягового опору до продуктивності, які вибраний критерій ефективності включає в себе, як інші оціночні показники та критерії (табл. 2.12).

Пропозиція щодо такого критерію ефективності не суперечить роботам по дослідженню роботи інших видів сільгосптехніки, що свідчить про певну універсальність такого критерію та можливість його прийняття як порівняльного комплексного критерію ефективності.

Виникає закономірне питання щодо порівняльного чисельного значення комплексного критерію ефективності. Як було емпірично прийнято щодо критерію запропонованого в п. 2.10 , чисельне значення комплексного критерію ефективності теж може складати 1,618, тобто відповідати значенню «золотого» перетину.

В якості обґрунтування прийнятого рішення, окрім посівної техніки, розглянемо динаміку показника питомої пропускної здатності q (табл. 2.12), який характеризує ефективність застосування зернозбиральних комбайнів, згідно роботі [34], рис. 2.29.



1…9 – усереднені значення питомої пропускної здатності комбайнів: СКД-5 (*1*), СК-6 (*2*), СКД-6 (*3*), СК-10 (*4*), СК-4 (*5*), СК-4А (*6*), СК-5 (*7*), Дон-1200 (*8*), Дон-1500 (*8*)

Рисунок 2.29 – Часова модель прогнозу зміни показника питомої пропускної спроможності зернозбиральних комбайнів (*джерело: розроблено в [34], с. 8*)

Аналізуючи рис.2.29, можна встановити, що пропонований критерій ефективності k_e для представлених моделей комбайнів приймає значення 1,2…2,5, причому для найбільш розповсюдженої в розглянуті роки моделі СК-5 «Нива» значення критерію ефективності приблизно складає k_e = 1,67, що може відображати оптимальність технічних рішень, закладених у технічному засобі.

Очевидно, що динаміка пропонованого критерію ефективності k_e для зернозбиральних комбайнів приблизно відповідає його динаміці, встановленій для зернових сівалок в п. 2.10.

Ідентичність характеру зміни значень динаміки запропонованого комплексного критерію ефективності для сівалок і комбайнів свідчить про те, що розглянуті закономірності можуть бути загальними для систем більш високого порядку, наприклад для системи машин по виробництву зернових культур. Тому можна припустити, що значення «золотого» перетину може бути критичним для розглянутих технічних засобів механізації при моделюванні оптимальності їх використання по *S*-подібній функції, тобто після досягнення цього значення приріст відповідних показників сповільнюється бо навіть знижується.

Крім оцінки техніко-експлуатаційної ефективності технічних засобів, розглянутий критерій може виступати як критерій екологічності, згідно роботи [148]. В даній роботі розглядається показник *I*, або мінімум питомого імпульсу сили тяжіння і дотичної сили тяги трактора на одиницю обробленої площі, з одиницею виміру, відповідній пропонованому критерію ефективності.

Також запропонований комплексний універсальний критерій ефективності можна прийняти в якості параметричного співвідношення у системах автоматизації підтримання оптимальних режимів роботи технічних засобів, тобто апаратного регулювання тягового опору при силовому і позиційному регулюванні або швидкості руху, для підтримання заданого значення критерію.

Таким чином, розглянутий критерій ефективності може виступати як інтегральний. Згідно роботи [143], можливе встановлення відповідності запропонованого комплексного критерію ефективності усім вимогам інтегральності, а саме:

- критерій ефективності є наочним – p_{num}/W_{num}, або p/W;
- критерій ефективності є об'єктивно визначуваним, тобто є вимірюваною (розрахункової) величиною, спосіб розрахунку якої відомий ($W = v \times B$, $p_{num} = N/W$, табл. 2.12);
- критерій ефективності містить показники, параметри та характеристики, вплив яких потрібно оцінити або які необхідно оптимізувати (табл. 2.12);
- для забезпечення властивостей повноти й універсальності ті параметри, що визначають властивості системи (технічного засобу), або p_{num} та W_{num}, входять у критерій ефективності в явному вигляді. При цьому критерій ефективності включає в себе мінімальне число параметрів, тобто два;
- критерій ефективності зіставляє корисний ефект (у вигляді продуктивності) і витрати (у вигляді тягового опору, або енергетичних витрат);
- критерій ефективності відображає багаторівневий підхід, або є універсальним (може оцінювати техніко-експлуатаційні рішення, екологічний вплив, виступати параметричним співвідношенням і т.п.);
- структура критерію ефективності зручна для практичного використання.

Тому на основі огляду, розробки та аналізу показників та критеріїв оцінювання ефективності роботи сільськогосподарських машин, у тому числі і посівних, можна висунути наступний загальний принцип.

Ефективність роботи сільськогосподарських машин можливо оцінювати на основі комплексного універсального критерію у вигляді співвідношення її технологічного опору до продуктивності, як співвідношення витрат і корисного ефекту, що є еквівалентом фізичної категорії динамічної в'язкості і показує здатність машини або робочого органу долати опір з максимальною ефективністю. При цьому комплексний універсальний критерій ефективності може виступати як інтегральний: у вигляді критерію екологічності або параметричного співвідношення в системах управління і автоматизації. Чисельне значення критерію ефективності відображає оптимальність закладених в машині техніко-економічних рішень і може приймати значення «золотої» пропорції, або 1,62.

2.14 Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента

Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента здійснимо на основі рекомендацій, розроблених в роботі [30]. В якості основної характеристики приймаємо ККД силового елемента по тиску – η_p. Розрахункова схема силового струминного елемента представлена на рис. 2.30.

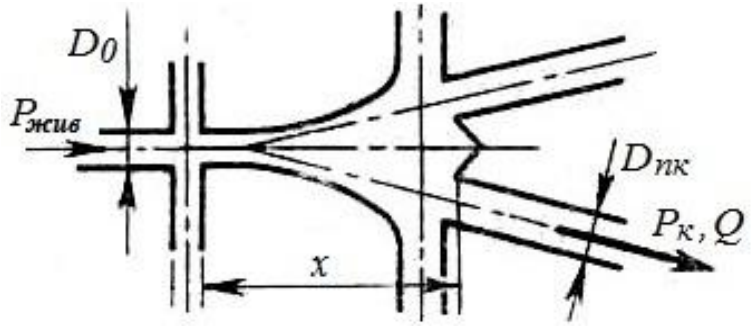


Рисунок 2.30 – Розрахункова схема силового струминного елемента (позначення в тексті) (*джерело: розроблено автором*)

Позначимо: $P_{жив}$ – тиск живлення силового струминного елемента, Па. Приймаємо $P_{жив}$ = 7000 Па; $P_к$ – тиск у приймальному каналі, Па; Q – витрата повітря на виході з приймального каналу, м^3/с. З умови сталості витрати приймаємо $Q \approx 0{,}0022$ м^3/с при тиску живлення $P_{жив}$ = 7000 Па (табл. 5.4); a_0 – ширина живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо a_0 = 0,002 м; b_c – висота живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо b_c = 0,016 м; f_n – площа перерізу сопла живлення, мм^2, $f_c = a_0 b_c = 3{,}2\times10^{-5}$ м^2; a_n – ширина приймального каналу. Приймаємо a_0 = 0,003 м; b_n – висота приймального каналу. Приймаємо b_n = 0,016м; f_n – площа перерізу приймального каналу, мм^2, $f_n = a_n b_n = 4{,}8\times10^{-5}$ м^2; x – відстань між кромкою живлячого сопла та входом в приймальний канал, мм. Приймаємо x = 0,009 м; D_0 – еквівалентний діаметр сопла живлення, м; $D_{пк}$ – еквівалентний діаметр приймального каналу, м.

Еквівалентний діаметр для повітряпроводів прямокутного перерізу визначається за формулою:

$$D_e = 1{,}3\frac{(a\cdot b)^{0{,}625}}{(a+b)^{0{,}25}}, \tag{2.23}$$

де a – ширина перерізу, мм;

b – висота перерізу, мм.

При a = 0,002 м, b = 0,016 м, за формулою (2.23) отримуємо що D_0 = 0,0055мм, а $D_{пк}$ = 0,007 м.

Розрахунок проведемо, виходячи з розміщення приймального каналу на початковому ділянці повітряного струменя. Для силових струминних елементів у даному випадку умову запишемо у вигляді:

$$\frac{x}{D_0} \le 5. \tag{2.24}$$

Приймаючи значення даної умови $x/D_0 = 9 / 5{,}5 \approx 1{,}6$, визначаємо тиск в приймальному каналі $P_к$:

$$P_к = P_{жив}\cdot\psi\cdot\left[c_1 - c_2\frac{D_{пк}}{D_0} + c_3\left(\frac{D_{пк}}{D_0}\right)^{-1} - c_4\left(\frac{D_{пк}}{D_0}\right)^{-2}\right], \tag{2.25}$$

де ψ – поправочний коефіцієнт, що враховує співвідношення діаметрів приймального каналу і сопла живлення (ψ = 1,0…1,4). Приймаємо ψ = 1,4.

c_1, c_2, c_3, c_4, – коефіцієнти пропорційності:

$$c_1 = 1 + \frac{1 - 0{,}2\dfrac{x}{D_0}}{\dfrac{x}{D_0}}; \tag{2.26}$$

$$c_2 = 1 + 0{,}0039\left(\frac{x}{D_0}\right)^3; \tag{2.27}$$

$$c_3 = \frac{\left(0{,}5 - 0{,}1\frac{x}{D_0}\right)^2}{0{,}252\frac{x}{D_0}}; \tag{2.28}$$

$$c_4 = \frac{\left(0{,}5 - 0{,}1\frac{x}{D_0}\right)^3}{0{,}126\frac{x}{D_0}}. \tag{2.29}$$

Підставивши у формули (2.26) – (2.29) $x/D_0 = 1{,}6$, отримаємо c_1 = 1,425; c_2 = 1,016; c_3 = 0,287; c_4 = 0,195.

Враховуючи отримані значення величин $P_{жив}$, ψ, $c_1 \ldots c_4$, D_0 і $D_{пк}$, отримаємо $P_к$ = 2350 кгс/см^2.

Значення розрахункового ККД бістабільного струминного силового елемента по тиску становить:

$$\eta_p = \frac{P_к}{P_{пит}} = \frac{2350}{7000} = 0{,}33, \text{ або } 33\%. \tag{2.30}$$

Разом з тим для отримання уточнених значень ККД і інших характеристик роботи силових струминних елементів необхідні подальші теоретичні і експериментальні дослідження передачі механічної енергії струменем робочого тіла в елементі.

2.15 Дослідження передачі механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі

В силових струминних елементах висівних апаратів механічна енергія, необхідна для здійснення роботи щодо дозування насіння, передається з сопла живлення в приймальний канал (рис. 2.29). При цьому відбувається подвійне

перетворення енергії: в соплі живлення потенційна енергія тиску перетворюється в кінетичну енергію струменя, а в приймальному каналі відбувається зворотне перетворення кінетичної енергії в потенційну енергію тиску. Ефективність цього перетворення в значній мірі визначає досконалість струминного елемента.

Передача енергії струменями, наприклад, в датчиках типу «сопло-приймальний канал» круглого перерізу розглядається з припущенням, що тиск в приймальному каналі дорівнює середньому тиску гальмування частини струменя, що потрапляє в цей канал. Однак відносно силових струминних елементів такий підхід не враховує того, що при взаємодії струменя з приймальною частиною виникають складні вторинні течії, пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі.

Особливістю течії в області приймального каналу є наявність зворотного потоку, що витікає з нього. Причиною його виникнення є нерівномірний розподіл швидкостей в струмені: швидкісний напір на осі струменя максимальний, а по мірі віддалення від осі він зменшується, знижуючись до нуля.

Тому частина витрати струменя, яка не проходить через навантаження, утворює зворотний потік. Зворотні течії виникають у периферійній частині приймального каналу, де динамічний напір набігаючого потоку порівняно невеликий.

Зворотний потік може поширюватися в напрямку осі струменя, або відхилятися від цього напряму в результаті взаємодії з периферійними частинами струменя. Напрямок течії зворотного потоку залежить від співвідношення ширини струменя і приймального каналу.

Якщо ширина приймального каналу мала у порівнянні з шириною струменя, то картина течії аналогічна натіканню струменя на плоску стінку, і в цьому випадку тиск в приймальному каналі дорівнює тиску гальмування. Якщо ширина приймального каналу істотно більша за ширину струменя, то картина течії аналогічна втіканню струменя у глухий кут [54]. Зворотний потік при цьому

поширюється паралельно осі струменя. В реальних струминних елементах картина течій є проміжною в порівнянні з зазначеними граничними випадками.

Розглянемо рух струменя в силовому елементі пневмоніки, беручи за основу схему течії в датчику типу «сопло-приймальний канал» (рис. 2.31).

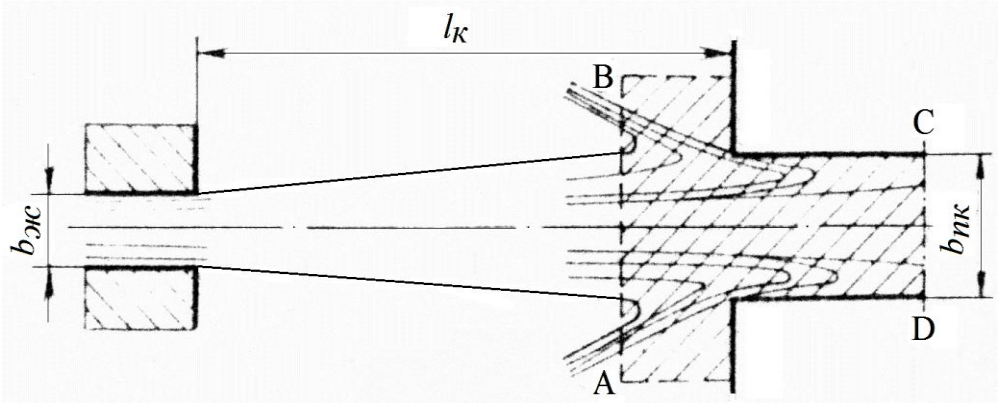


Рисунок 2.31 – Розрахункова схема до дослідження передачі механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі (позначення в тексті) (*джерело: розроблено автором*)

При цьому зробимо наступні припущення: на відміну від осесиметричного струменя круглого перерізу в датчику, в даному випадку струмінь плоский, з шириною в перетинах сопла живлення $b_{ж}$ і приймального каналу $b_{пк}$.

Виділимо ділянку робочого середовища *ABCD*. Ця ділянка обмежена площиною *AB*, нормальною до осі струменя і проходить поблизу входу в приймальний канал там, де структура струменя ще не порушена, і площиною *CD*, проведеної нормально до осі приймального каналу на такій відстані від його входу, де рух стає рівномірним.

Для виділеної ділянки запишемо рівняння імпульсів у проекції на осі струменя, з урахуванням тієї обставини, що в гідроаеродинаміці замість маси матеріальної точки розглядається маса одиниці об'єму, тобто щільність ρ, а замість імпульсу – фігурує вектор густини імпульсу, що збігається за змістом з вектором густини потоку маси, тобто $p = \rho v$. Тоді:

$$p_в \omega_в = \rho v_в \omega_в = I_{1x} + I_{2x} + I_{3x}, \quad (2.31)$$

де $p_в$ – тиск на виході (в перерізі *CD*);

$v_в$ – швидкість робочого тіла на виході (в перерізі *CD*);

$\omega_в$ – площа вихідного перерізу (перерізу *CD*);

I_{1x} – імпульс струменя у перерізі *AB*;

I_{2x} – проекція на вісь струменя імпульсу скидаємого потоку, що не надходить через перетин *CD* приймального каналу. Цей потік складається із зворотного потоку, що витікає з приймального каналу і відхиляємого потоку;

I_{3x} – проекція на вісь імпульсу струменя потоку в перерізі *CD*.

Визначимо числові вирази для відповідних імпульсів.

$$I_{1x} = 2\int_0^y \rho u^2 dy = 2 \cdot 1{,}35 Ic = Ik_j, \quad (2.32)$$

де y – поперечна координата струменя, м;

u – швидкість в точці відповідного перерізу струменя, м/с;

I – імпульс струменя на виході з сопла живлення, мкг/с;

c, k_j – коефіцієнти пропорційності.

Імпульс струменя на виході з сопла живлення визначається за формулою:

$$I = \rho b_ж u_ж, \quad (2.33)$$

де $u_п$ – швидкість повітря на виході з сопла живлення, м/с;

$$k_j = 2{,}7c, \quad (2.34)$$

$$c = 0{,}5 \frac{b_{пк}}{x'} tg\beta, \quad (2.35)$$

де β – кут нахилу стінки силового струминного елемента. Приймаємо $\beta = 16^0$.

x' – поправний коефіцієнт:

$$x' = \frac{b_{ж}}{2}\left(\frac{1}{tg\beta} - \frac{m}{Re}\right) + l_к, \qquad (2.36)$$

де Re – число Рейнольдса;

m – стала, що залежить від кута нахилу стінки силового струминного елемента, якщо $\beta = 16^0$ та $m \approx 3 \cdot 10^4$, згідно [54];

$l_к$ – довжина робочої камери струминного елемента, м.

Приймаємо $l_к \approx 0{,}009$ м.

Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{u_{ж} D_0}{\nu}, \qquad (2.37)$$

де D_0 – умовний діаметр сопла живлення, м, $D_0 = 0{,}0055$ м (п. 2.13);

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, $\nu = 0{,}000015$ м^2/с.

Площа сопла живлення при $D_0 = 0{,}0055$ м складе $S_{ж} = 0{,}000024$ м^2. Приймаючи витрату через сопло живлення $Q_{ж} = 0{,}0022$ м^3/с (табл. 5.4), отримаємо швидкість повітря на виході з сопла живлення: $u_{ж} = 91{,}7$ м/с. Тоді за формулою (2.37) $Re = 33623$.

Враховуючи значення параметрів, за формулами (2.34) – (2.36) маємо: $x' = 0{,}0116$; $x = 0{,}037$; $k_j = 0{,}1$.

Імпульс потоку у вихідному каналі визначається виразом:

$$I_{3x} = \int_0^{b_{пк}} \rho u^2 dy = \frac{\alpha_{0пк} \rho Q_{пк}^2}{b_{пк}}, \qquad (2.38)$$

де $\alpha_{0пк}$ – коефіцієнт кількості руху в перерізі CD. Емпірично приймається в розмірі $\alpha_{0пк} = 0{,}8 \ldots 1{,}2$.

Підставивши залежності (2.32) і (2.38) в рівняння (2.31), отримаємо тиск у вихідному каналі силового струминного елемента, або його вихідну характеристику:

$$p_в = \frac{\rho Q_ж^2}{b_{пк}^2}\left[\xi k_j \frac{b_{пк}}{b_ж} + \alpha_{0пк}\frac{Q_{пк}^2}{Q_ж^2}\right], \tag{2.39}$$

де Q – витрата робочого тіла, м^3/с.

ξ – поправка, яка враховує дію потоку, що скидується, ξ = 1,25.

Витрата через сопло живлення дорівнює:

$$Q_ж = \mu_в S_ж \sqrt{\frac{2}{\rho} p_ж}, \tag{2.40}$$

де $\mu_в$ – коефіцієнт витрати;

ρ – щільність повітря. Приймаємо ρ = 1,225 кг/м^3.

$p_ж$ – тиск живлення, Па.

Із виразу (2.40) визначимо коефіцієнт витрати:

$$\mu_в = \frac{Q_ж}{S_ж \sqrt{\frac{2}{\rho} p_ж}}. \tag{2.41}$$

Оскільки тиск живлення $p_ж$ = 7000 Па, то отримаємо $\mu_в$ = 0,857.

Подамо рівняння (2.39) у безрозмірному вигляді:

$$\frac{p_в}{p_ж} = \mu_в^2 \left(\frac{b_ж}{b_{пк}}\right)^2 \left[\xi k_j \frac{b_{пк}}{b_ж} + \alpha_{0пк}\left(\frac{Q_{пк}}{Q_ж}\right)^2\right], \tag{2.42}$$

Умовно приймаючі витрати в перерізах *AB* и *CD* постійними і враховуючи наступні значення параметрів: $\mu_в$ = 0,857, $b_ж$ = 0,002 м, $b_{пк}$ = 0,003 м, ξ = 1,25, k_j=0,1, $\alpha_{0пк}$ = 1,0, $Q_{пк} = Q_ж$ = 0,0022 м^3/с, маємо $p_в/p_ж$ = 0,387.

Отримане значення $p_в/p_ж$ = *0,387* також може характеризувати ККД силового струминного елемента по тиску, розглянутий в п. 2.14, значення якого дорівнює 0,33. Однак для більш точного дослідження чинників, що впливають на

передачу механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі, особливо враховуючих дію потоку робочого середовища, що скидується в перерізі *AB* (рис. 2.31), необхідно аеродинамічне або імітаційне моделювання робочого процесу силового струминного елемента.

2.16 Дослідження показників робочого процесу пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки

Теоретичні дослідження конструкційних параметрів пневматичних висівних апаратів та систем дискретної дії з елементами пневмоніки для рядового висіву представлено в [11, 74, 137]. В даній роботі необхідно провести також дослідження енергетичних та технологічних показників робочого процесу висівних систем групової сівби з елементами пневмоніки. Ці показники розглянемо на прикладі висівної системи з маятниковим апаратом.

2.16.1 Визначення діапазону норм висіву зернових культур висівним апаратом маятникового типу

Норма висіву залежить від кількості порцій на гектар, яка визначається по формулі:

$$n = \frac{10000\, f}{b \cdot V}, \tag{2.43}$$

де f – частота дозування, Гц;

V – швидкість руху сівалки, м/с;

b – ширина міжряддя. Для зернових культур приймаємо b = 0,15 м.

Для рівномірного розподілення насіння необхідно не менш, ніж три його порції, подані апаратом на погонний метр. При швидкості сівалки V = 3 м/с, мінімальна частота дозування висівним апаратом складе 9 Гц, що не суперечить даним інших дослідників [140, 143, 144, 154, 165, 168, 171].

Тоді норма висіву складе:

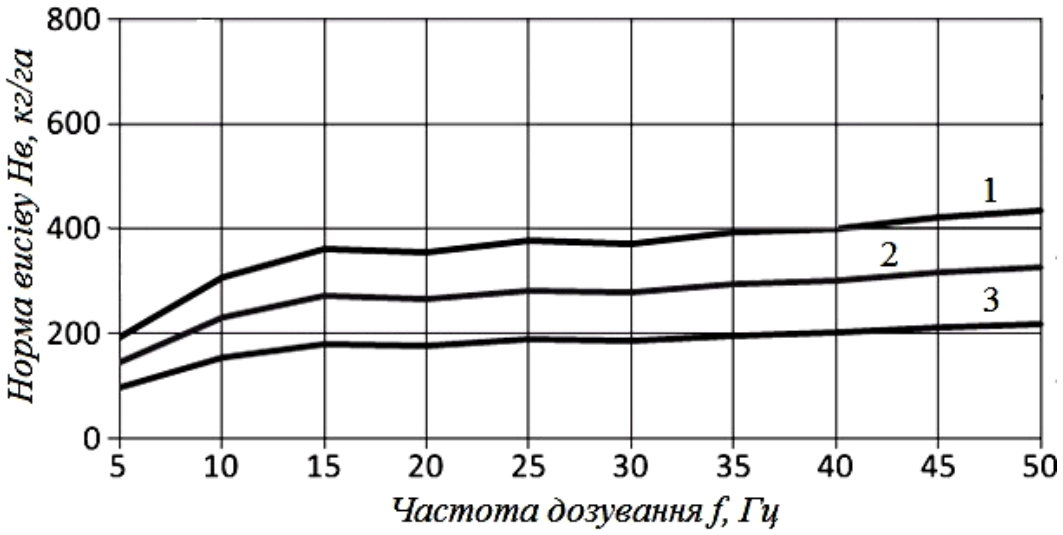
$$N = \frac{m_{ср} n}{1000}, \tag{2.44}$$

де $m_{ср}$ – середня маса порції насіння на даній частоті дозування, г.

В остаточному вигляді норма висіву при швидкості руху V = 3 м/с складе:

$$N = \frac{10 m_{ср} f}{0{,}15 \cdot 3} = 22{,}22 \cdot m_{ср} \cdot f. \tag{2.45}$$

Згідно виразу (2.45), отриману залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування представлено на рис. 2.32.



1 – апарат АВМ-1М; *2* – апарат АВМ-1МА;

3 – апарат АВМ-1МА з дільником потоку насіння

Рисунок 2.32 – Залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування при тиску живлення струминного елемента $P_{ж}$ = 7 кПа та швидкості руху сівалки V = 3 м/с (*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи представлені графічні залежності, можна зробити висновок, що досліджені апарати більш доцільно використовувати у частотному діапазоні до 20 Гц при швидкості руху сівалки V = 3 м/с зі зміною норми висіву насіння пшениці від 100 до 440 кг/га, що значно вище діапазону норм висіву сівалкою СЗ-3,6А, який складає 60…300 кг/га.

2.16.2 Визначення енергетичних показників роботи висівного апарату

Визначаємо витрату повітря на один дозатор:

$$Q_n = \varepsilon f_c \sqrt{\frac{2P_{ж}}{\gamma}}, \tag{2.46}$$

де ε – коефіцієнт витрати;

f_c – площа сопла живлення струминного елемента на один дозатор, м^2;

$P_{ж}$ – тиск живлення, Па;

γ – щільність повітря, кг/м^3.

Визначаємо потужність, підведену до дозатора:

$$N_д = P_{ж.} \cdot Q_n. \tag{2.47}$$

Приймаючі чисельні значення складових ε = 0,9; f_c = 3,8×10^{-6} м^2; $P_{ж}$ = 7000 Па; γ = 1,22 кг/м^3, отримаємо Q_n = 0,00036 м^3/с, $N_д$ = 2,5 Вт.

Визначаємо витрату повітря струминним блоком управління висівом:

$$Q_б = \varepsilon(f_д + f_{сб})\sqrt{\frac{2P_n}{\gamma}}, \tag{2.48}$$

де $f_д$ – площа сопла датчика швидкості, м^2;

$f_{сб}$ – загальна площа сопел струминних елементів блока управління, м^2.

Приймаючі чисельні значення складових ε = 0,9; $f_д$ = 10^{-6} м^2; $f_{сб}$ = 4×10^{-6} м^2; $P_{ж}$ = 7000 Па; γ = 1,2 кг/м^3, отримаємо $Q_б$ = 0,00049 м^3/с.

По формулі (2.47) визначаємо потужність, підведену до блока управління:

$$N_б = 7000 \cdot 0{,}00049 = 3{,}4\ Вт.$$

Визначаємо потужність приводу вентилятора для живлення висівних апаратів сівалки:

$$N_{ва} = \frac{\zeta(kN_д + N_б)}{\eta_в \eta_п \eta_{пп}}, \quad (2.49)$$

де k – кількість дозаторів на сівалці;

ζ – коефіцієнт урахування втрат тиску;

$\eta_в$ – ККД відцентрового вентилятора;

$\eta_п$ – ККД підшипників;

$\eta_{пп}$ – ККД пасової передачі.

Приймаючи ширину захвату зернової сівалки B = 6 м, з кількістю сошників n_c = 48, підставляючи чисельні значення складових – k = 48; ζ = 1,05; $\eta_в$ = 0,75; $\eta_п$ = 0,99; $\eta_{пп}$ = 0,95, отримаємо $N_{ва}$ = 184 Вт.

2.16.3 Визначення енергетичних показників роботи насіннєпроводів

Згідно тенденції зростання швидкості руху посівних агрегатів з метою підвищення їх продуктивності, насіння до сошників також необхідно подавати з пропорційно збільшеною швидкістю, що можливо на основі дії на насіння повітряного потоку [131].

Також в дисертаційній роботі одним з заходів підвищення ефективності роботи зернових сівалок запропоновано прийняття роздільно-агрегатної компонувальної схеми посівної машини з дискретними апаратами групового висіву з елементами пневмоніки. На відміну від шеренгової моноблочної компонувальної схеми сівалок, де транспортування насіння до борозни здійснюється під дією гравітації, при груповому висіві транспортування насіння на дно борозни здійснюється повітряним потоком, тобто пневматичним транспортуванням. В такій сівалці необхідно зберегти максимально можливу рівномірність потоку насіння, забезпечити мінімальні енергоємність і пошкодження насіння та надходження насіння до борозни з заздалегідь заданою швидкістю [146, 151, 174].

Вивченню впливу насіннєпроводу на рівномірність подачі насіння присвячені роботи [130, 135, 136, 146, 151], але питання енергоємності роботи насіннєпроводів при активній подачі насіння вивчено недостатньо.

При пневмотранспортуванні в насіннєпроводах насіння переміщуються на відносно невеликій довжині. При цьому витрата енергії на переміщення насіння і повітря визначається гідравлічним опором насіннєпроводу.

Відомі роботи по дослідженню переміщення посівного матеріалу і мінеральних добрив у пневмотрактах ПЦВС [129, 134, 139], де використовується відомий метод поділу втрат тиску на місцеві і по довжині при визначенні витрат енергії. В цьому випадку враховується вплив розподільника та його колони на роботу висівної системи, що є відмінністю від розглянутої системи дискретної дії з елементами пневмоніки.

Тому розглянемо метод визначення комплексних втрат тиску $P_{вт}$:

$$P_{вт} = P_{см} - P_{п}, \tag{2.50}$$

де $P_{см}$ – сумарні втрати тиску при транспортуванні насіння, Па;

$P_{п}$ – втрати тиску повітря, Па.

Втрати $P_{вт}$ можна подати у вигляді параметрів, що виключають необхідність визначення окремих складових, які використовуються в методі поділу втрат. З цією метою введемо поняття ККД транспортування насіння по насіннєпроводу $\eta_{т}$, який являє собою відношення корисної роботи, чиненої повітряним потоком при переміщенні насіння за який-небудь проміжок часу, до витраченої. Корисною при транспортуванні насіння буде вважатися робота, витрачена на його переміщення, а витрати енергії на переміщення повітря в корисну роботу не входять. Тому ККД транспортування насіння можна представити як:

$$\eta_{т} = \frac{gGl}{v\omega P_{вт}}, \tag{2.51}$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2; G – масова витрата посівного матеріалу, кг/с; l – довжина транспортування, м; v – швидкість повітря в перерізі насіннєпроводу, м/с; ω – площа перерізу насіннєпроводу, м^2.

У загальному випадку ККД транспортування посівного матеріалу по насіннєпроводу являє собою функцію декількох змінних: швидкості v повітря, швидкості $v_м$ посівного матеріалу, продуктивності G висівної системи, довжини l транспортування, фізико-механічних властивостей переміщуваного посівного матеріалу і насіннєпроводу, пошкодження матеріалу в процесі транспортування та інших факторів, або:

$$\eta_т = f(v, v_м, G, l, ...). \tag{2.52}$$

Функціональну залежність (2.52) можна представити у вигляді:

$$\eta_т = A / Fr^n, \tag{2.53}$$

де A і n – відповідно коефіцієнт і показник ступеня, що залежать від фізико-механічних властивостей насіннєпроводу і переміщуваного посівного матеріалу, аеродинамічних властивостей матеріалу та його пошкодження під час транспортування;

Fr – критерій Фруда, розрахований по швидкості повітря.

Залежність (2.53) також можна записати інакше:

$$\frac{gGl}{v\omega P_{вт}} = \frac{A(gl)^{0,5n}}{v^n}, \tag{2.54}$$

звідки:

$$P_{вт} = \frac{1}{A}\frac{G}{\omega}v^{n-1}(gl)^{1-0,5n}. \tag{2.55}$$

Тоді сумарні втрати тиску визначаться з виразу:

$$P_{см} = P_п + \frac{1}{A}\frac{G}{\omega}v^{n-1}(gl)^{1-0,5n}. \tag{2.56}$$

Таким чином, розрахунок гідравлічного опору при транспортуванні насіння по насіннєпроводу висівної системи з елементами пневмоніки за цим методом зводиться до визначення значення $P_{см}$,

Виходячи з представлених залежностей, визначимо гідравлічний опір насіннєпроводу. При цьому необхідно враховувати відому умову рівності поступальної швидкості руху сівалки та швидкості руху насіння по насіннєпроводу, що потрібно для компенсації розкочування насіння по дну борозни.

Зробимо вибір числових значень складових виразу (2.56). Тиск P_n = 100 Па, згідно [134]; A = 0,26…0,36 м^2/с^2; G = 0,009 кг/с (на один вихід до сошнику, при нормі висіву 200 кг/га і швидкості руху сівалки v_c = *3 м/с*); ω = 0,0005 м^2 (приймаємо в якості насіннєпроводів акрилові трубки з внутрішнім діаметром d = 25 мм, згідно [134]); $v \approx$ 18,5 м/с (виходячи з умови відсутності пошкодження насіння [169] та рекомендацій [134, 159] для компенсації розкочування насіння); n = 1,25…1,36; g = 9,81 м/с^2; довжину l = 1 м, згідно [134].

Отримаємо чисельне значення втрат тиску у насіннєпроводі $P_{см}$ = 438 Па.

Визначаємо потужність, необхідну для транспортування насіння в одному насіннєпроводі:

$$N_{тн1} = P_{см.} \cdot Q_n, \qquad (2.57)$$

де Q_n – витрата повітря на транспортування насіння, м^3/с.

Виходячи зі швидкості повітря $v \approx$ 18,5 м/с, площі перерізу насіннєпроводу ω = 0,0005 м^2 та рівняння нерозривності потоку отримаємо Q_n = 0,00925 м^3/с. Тоді потужність, необхідна для транспортування насіння, складе $N_{тн1}$ = *4 Вт*.

Виходячи з формули (2.49) визначимо підведену потужність вентилятора для живлення насіннєпроводів висівної системи сівалки з шириною захвату B = 6 м: $N_{тн}$ = *286 Вт*.

Сумарна підведена потужність вентилятору, необхідна для живлення пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки складе $N_{сп} = N_{ва} + N_{тн}$, або $N_{сп}$ = 470 Вт.

Якщо порівняти з іншими видами висівних систем, то можна встановити, що вібродискретна висівна система сівалки «Клен» потребує $N_{сд}$ = 250 Вт приводної потужності (для сівалки з B = 6 м, n_c = 48), згідно [167], котушкова висівна система – $N_{ск} \approx$ 700 Вт (для сівалки з B = 6 м, n_c = 48), згідно [161], ПЦВС – $N_{сц}$ = 8460 Вт (для сівалки з B = 6 м, n_c = 48), згідно [32, 145, 161].

Висновки по другому розділу

1. Обґрунтовано, що методом аналізу значень показників динаміки розвитку зернових сівалок може бути інтелектуальний аналіз даних. В якості інструментальних засобів інтелектуального аналізу даних можливе використання еволюційних обчислень, заснованих на генетичних алгоритмах, які дозволяють розробляти і застосовувати функції для визначення ефективності використання зернових сівалок.

2. В результаті теоретичних досліджень підтверджено висунуту гіпотезу досліджень. Визначення динаміки значень показників ефективності зернових сівалок та її прогнозування на основі еволюційних обчислень дозволили встановити, що значення технологічних показників сівалок з котушковими висівними апаратами описуються *S*-подібною функцією і мають межу насичення, яка відповідає 2000...2005 рокам. У той же час, конструктивні показники мають тенденцію до зростання, що викликає прогресуюче збільшення капіталовкладень при непропорційному зниження віддачі.

3. Прогнозні дослідження ефективності застосування зернових сівалок з котушковими висівними апаратами показують, що можливості принципу дії посівних машин такого типу практично вичерпані, так як досягнуто максимальних значень показників, відповідних даному принципу дії і можна зробити обґрунтований висновок про необхідність переходу на нові принципи дії висівних систем.

4. Виявлено, що причиною зниження ефективності зернових сівалок з котушковими висівними апаратами є непропорційно зростаючий тяговий опір внаслідок зростання матеріало- і енергоємності, необхідних для підвищення продуктивності. Отже, актуальною проблемою тут є зниження матеріало- і енергоємності зважаючи на те, що для сівалок з котушковими висівними апаратами вона перевищує рекомендоване значення, що дорівнює 250...300 кг/м. Крім того, значення енергоємності сівалок з котушковими висівними апаратами та ПЦВС також перевищують рекомендовані, які рівні 10...15 кВт/м.

5. Проведені дослідження показали, що для сівалок з котушковими висівними апаратами принципово не вдасться знизити матеріалоємність і енергоємність до оптимальних, у даних соціальних та техніко-економічних умовах, з одночасним пропорційним підвищенням ефективності і продуктивності. Так як ефективне використання розглянутого виду машин в значній мірі вичерпало свій потенціал, то актуальним є впровадження нових технологій виробництва і принципів дії висівних систем посівних машин.

6. Визначено, що при збереженні існуючих тенденцій розвитку зернових сівалок найбільш перспективним є вдосконалення пневматичних сівалок з централізованим висівом, однак динаміка розвитку показників їх ефективності свідчить про вступ в дію закону прогресивної еволюції, оскільки значення показників продуктивності сівалок з централізованим висівом змінюються по *S*-подібній функції.

7. Встановлені залежності дозволили обґрунтувати критерій ефективності застосування зернових сівалок, який представляє собою параметричне співвідношення, що визначає ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок на основі раціонального використання енергії. Співвідношення витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до показника питомої продуктивності, тобто p_{num}/W_{num}, показує порівняльну ефективність посівної машини. Встановлена одиниця виміру критерію відповідає умовній динамічної в'язкості μ^*. Отже, фізичний зміст розглянутого критерію полягає в здатності

машини долати опір з максимальною ефективністю, а конструктивні і технологічні показники різних машин можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію.

8. Встановлено, що запропонований критерій ефективності, еквівалентний умовному коефіцієнту динамічної в'язкості, прямо пропорційний дотичним напругам в робочому процесі по ширині захвату сівалки і визначаючим збільшення тягового опору, і обернено пропорційний швидкості руху. Тому для поліпшення розглянутого критерію ефективності потрібен якісний інтенсивний напрямок розвитку посівних машин, що виражається підвищенням швидкості робочого процесу висіву.

9. На основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників та критеріїв роботи технічних засобів механізації обґрунтовано узагальнений комплексний критерій для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки. При цьому отриманий узагальнений комплексний критерій може оцінювати ефективність і оптимальність технічних рішень в засобах механізації, екологічність їх застосування та виступати параметричним співвідношенням у системах автоматизації для підтримання оптимальних режимів функціонування робочих органів. В якості оптимального значення запропонованого комплексного критерію ефективності емпірично прийнята «золота» пропорція, значення якої становить 1,62.

10. Виявлено, що більшість існуючих технічних засобів автоматизації і управління нормою висіву є структурно надлишковими, з негативним показником функціонально-структурної інтеграції (I^{FS} = -0,625). Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності і точності технічних систем, погіршення їх масогабаритних і вартісних показників. Обґрунтовано, що подолання виникаючих труднощів можливе на основі мехатронного підходу до дослідження і реалізації технічних засобів автоматизації робочого процесу висіву. Виявлено, що суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і окремих складових будь-якої системи в інтегровані модулі вже на етапах

розробки. При цьому показник функціонально-структурної інтеграції приймає позитивні значення (I^{FS} = 0,167), а розподіл функціонального навантаження у такій системі автоматизації є більш рівномірним, з показником РФН I_g = 33,3, на відміну від вихідної структурної моделі, в якій показник РФН I_g = 12,5.

11. Встановлено, що розрахунковий ККД струминного силового елемента по тиску становить 38%. Теоретичне дослідження передачі механічної енергії плоскими струменями показує, що при описі взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента необхідно аеродинамічне або імітаційне моделювання, у зв'язку з тим, що тут виникають складні вторинні течії у вигляді зворотних потоків, які пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі.

12. Проведені теоретичні дослідження визначають напрямок підвищення ефективності зернових сівалок – пошук і застосування нових принципів дії висівних систем та інших робочих органів, а також зниження матеріало- і енергоємності конструкцій і робочого процесу. При цьому оптимальним є поєднання роздільно-агрегатної компонувальної схеми групового висіву з малою матеріаломісткістю, із пневматичною висівною системою вепольної дискретної дії на основі елементів пневмоніки.

РОЗДІЛ 3
МЕТОДОЛОГІЯ І ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ

3.1 Обґрунтування загального підходу і структури експериментальних досліджень у вирішенні проблеми підвищення ефективності робочого процесу зернових сівалок, висівних апаратів і систем

Підвищення ефективності застосування зернових сівалок, їх висівних апаратів і систем можливо на підставі комплексу теоретичних і експериментальних досліджень окремих складових даної проблеми.

В результаті системного аналізу розглянутої проблеми (розділ 1), а також теоретичних досліджень (розділ 2) виявлено узагальнення і протиріччя в розвитку і застосуванні зернових сівалок та їх висівних систем. Основою методології експериментальних досліджень проблеми є побудова процедур та їх об'єднань – структур, тобто такої системи операцій по відношенню до проблеми, які підтверджують і доповнюють теоретичні дослідження й формування яких забезпечує більш повне рішення проблеми.

Створення структури експериментальних досліджень являє собою системно-структурний метод для вирішення питань в проблемі, пов'язаних з необхідністю визначення тих або інших експериментальних даних. В ході їх визначення проводиться одночасна або послідовна побудова різних пошукових полів, для обробки яких застосовуються наявні або розробляються відсутні спеціальні засоби, методи і методики, тобто здійснюється перехід від загального і схематичного вирішення проблеми до більш конкретної і змістовної.

Схема, представлена на рис. 3.1, відображає сутність методології експериментальних досліджень в даній дисертаційній роботі та побудови їх структури.

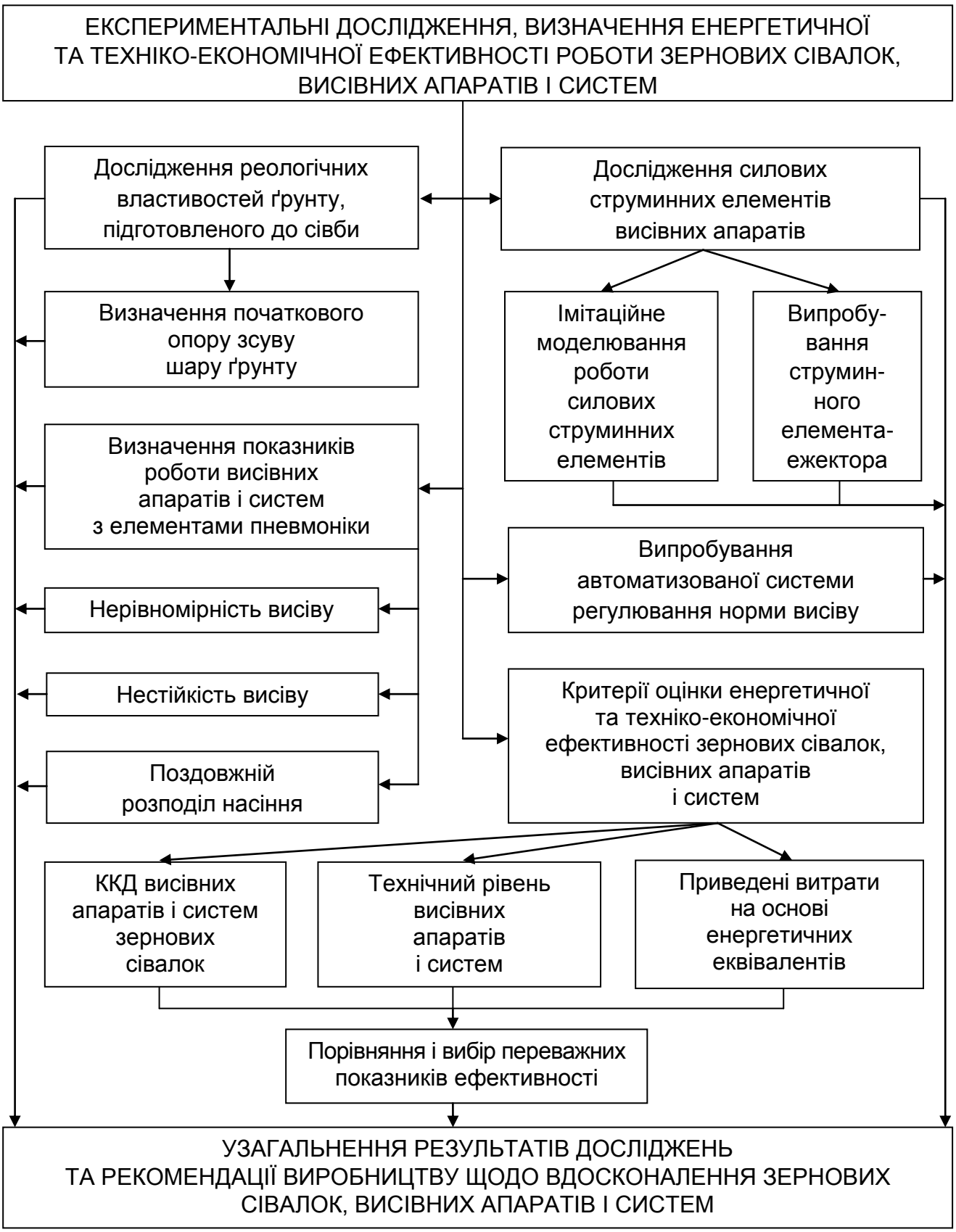


Рисунок 3.1 – Структурна послідовність методології експериментальних досліджень та визначення енергетичних і техніко-економічних показників для вирішення проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем (*джерело: розроблено автором*)

3.2 Методи і методики експериментальних досліджень вирішення проблеми підвищення ефективності робочого процесу зернових сівалок, висівних апаратів і систем

3.2.1 Програма і методи експериментальних досліджень

Загальна програма експериментальних досліджень та визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем передбачає вирішення п'яти блоків завдань, згідно схеми структурної послідовності загального підходу, відображеній на рис. 3.1:

1. Визначення реологічних властивостей технологічних матеріалів, що взаємодіють з посівної машиною, зокрема, початкового опору зсуву шару ґрунту, підготовленого до сівби.

2. Дослідження пневмоструминних елементів – силового бістабільного елемента і елемента-ежектора, з метою визначення їх оптимальних геометричних розмірів і режимів роботи.

3. Проведення агротехнічної оцінки роботи розроблених висівних пристроїв з визначенням якісних показників їх робочого процесу.

4. Дослідження з автоматизації та управління процесом висіву в розроблених висівних апаратах і пристроях.

5. Визначення критеріїв оцінки енергетичної та техніко-економічної ефективності зернових сівалок, висівних апаратів і систем.

Експериментальні дослідження спрямовані на доповнення і підтвердження теоретичних досліджень, оптимізацію конструкцій, режимів роботи і перевірку працездатності розроблених висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки та відповідності показників їх робочого процесу агротехнічним вимогам. При виконанні експериментальних досліджень приймалися до уваги методи, використовувані при випробуванні посівних машин [9, 12, 15, 19, 33, 35, 40, 60, 62], а також прийняті в дослідженнях експериментальна техніка, вимірювальні прилади та інструменти. Застосовано прийоми і методи експериментальних

досліджень висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки [14, 31, 45], в яких автори розглядають операції робочого процесу таких висівних пристроїв.

3.2.2 Прилади, обладнання і матеріали для виконання завдань експериментальних досліджень

Для дослідження висівних пристроїв у лабораторних умовах використовували різні стенди та комплекси, оснащені вимірювальною апаратурою. Зазначимо, що стенди відповідали наступним вимогам науково-дослідних робіт: універсальність, компьютеризованість, забезпечення високої точності отриманої інформації і використання різноманітної цифрової вимірювальної і реєструючої апаратури, згідно [34].

В ході експериментальних досліджень використовували наступні прилади і обладнання:

1. Блок живлення постійного струму “Агат”.

2. Генератор імпульсів каліброваної амплітуди Г5-53 (похибка установки параметрів±1,0%).

3. Генератор сигналів спеціальної форми Г6-26 (похибка ±1,0%).

4. Частотомір електронно-лічильний Ф5041 (похибка вимірювань $\pm 10^{-7}$).

5. Осцилограф електронно-променевий С1-54 (гранична похибка вимірювань ±1,0%).

6. Датчик тиску індуктивний ДМІ-0,1 (похибка вимірів ±1,0%).

7. Ваги ВЛКТ-500М (гранична похибка ±20 мг).

8. Ваги AU313 (точність вимірювань ±1 г).

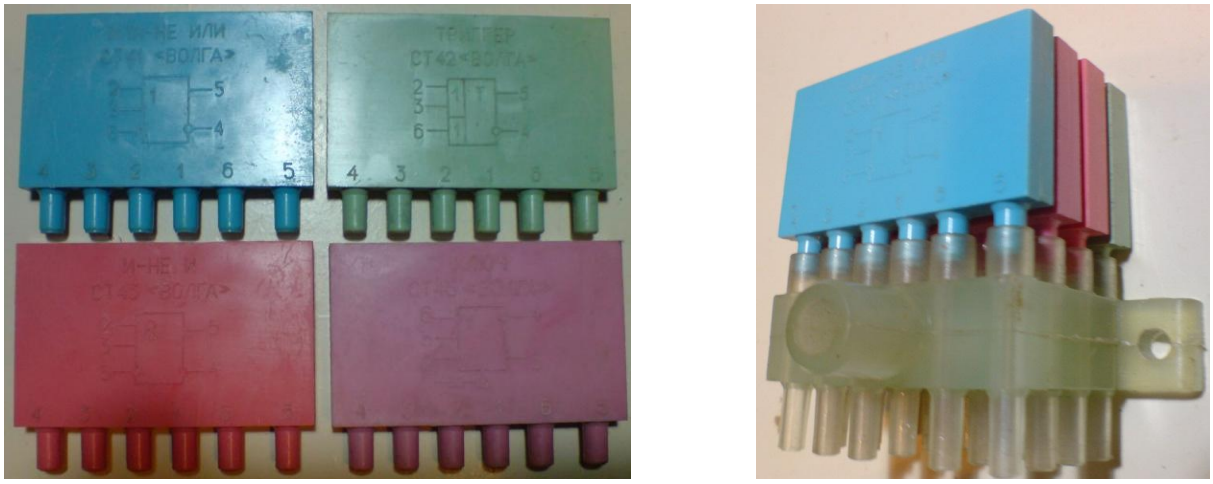
9. Зразковий манометр МЗМ (кл.0,6), напороміри НМП-52У3 (кл. 1,5), НМП-100У3 (кл. 2,5), тягомір ТНМП-100У3 (кл. 2,5).

10. Об'ємний газовий лічильник G4РЛ;

11. Пневмоелектроклапан.

12. Лабораторний трибометр.

13. Управляючі струминні елементи пневмоніки (рис. 3.2).



а *б*

а – різновиди струминних елементів; *б* – елементи на монтажній колодці

Рисунок 3.2 – Управляючі струминні елементи пневмоніки

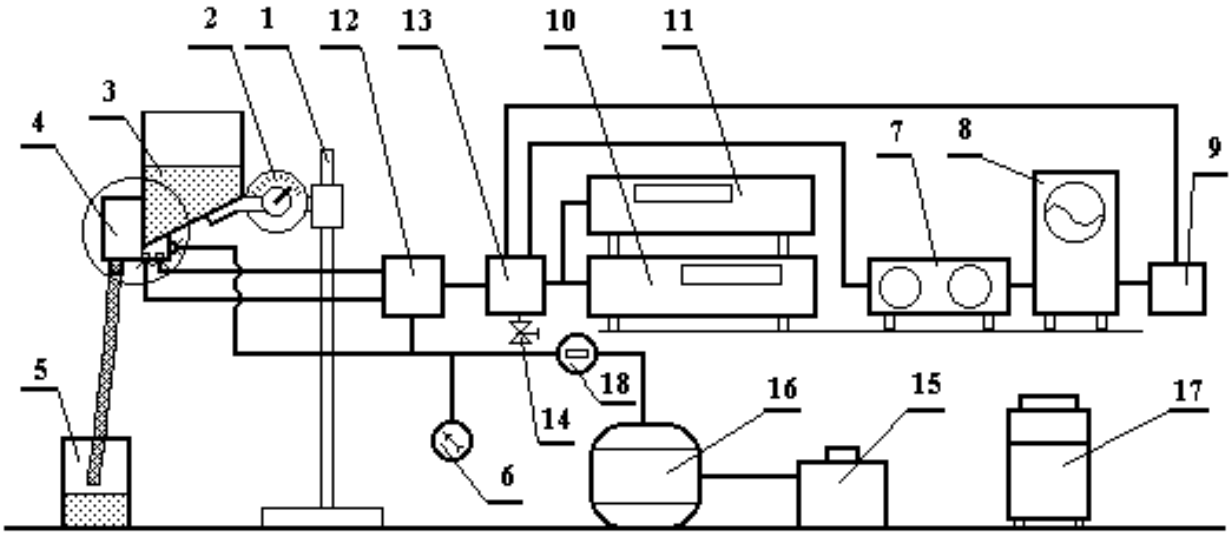
(*джерело: розроблено в [59]*)

Дослідження з вивчення впливу конструктивних, аеродинамічних, геометричних і кінематичних параметрів на процес висіву, а також розроблених висівних пристроїв проводили на лабораторній установці, схема та загальний вигляд якого представлено на рис. 3.3.

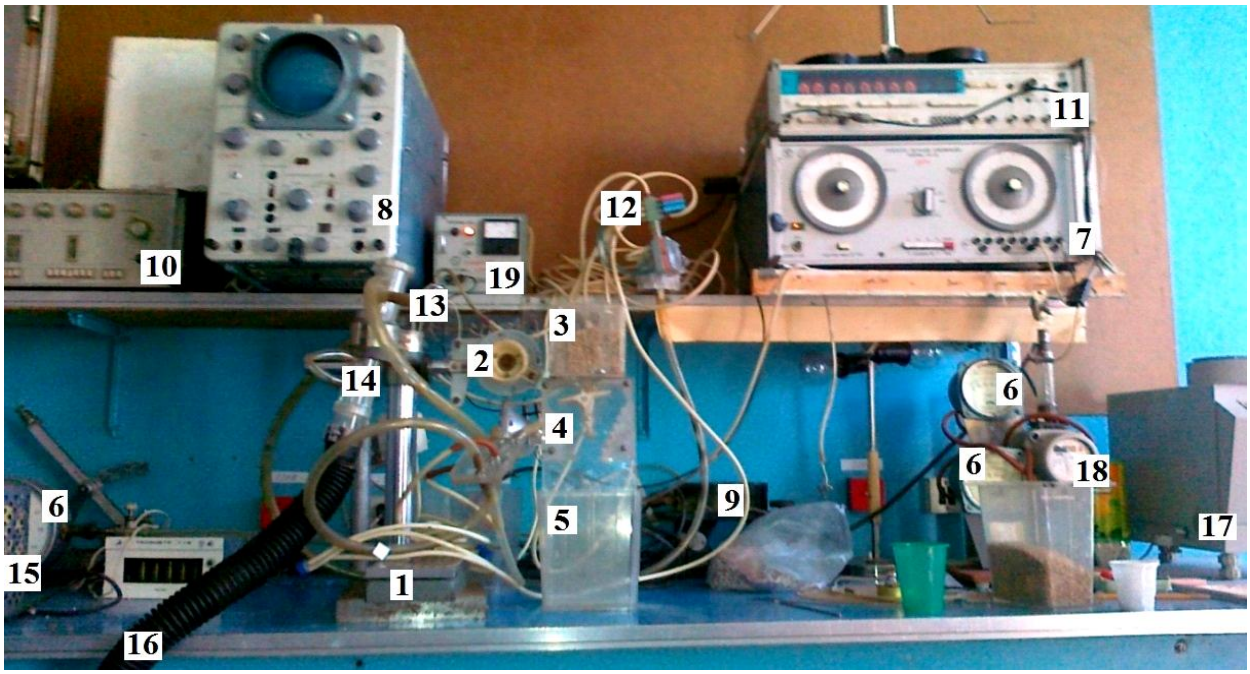
3.2.3 Методи проведення експериментальних досліджень та обробка бази експериментальних даних

Техніку проведення експериментальних досліджень здійснювалася в такій послідовності: підготовка і перевірка приладів і обладнання, установка запропонованих параметрів, виконання контрольних замірів, безпосередньо досліди і обробка отриманих результатів.

Дані експериментів фіксували у відповідних таблицях, на основі яких виконували аналіз результатів, і будували графічні залежності. Кількість повторностей визначали, виходячи з теоретичних передумов закономірностей процесу. При лінійній зміні вихідних параметрів розглянутого процесу кількість повторностей приймали від трьох до п'яти. Якщо зміна процесу протікає нелінійно, то кількість повторностей виконували не менше п'яти.



а



б

1 – штатив; *2* – поворотний кронштейн; *3* – ємність для насіння; *4* – висівний апарат з насіннєпроводом; *5* – мірна ємність; *6* – манометр МЗМ (напоромір або тягомір); *7* – генератор сигналів спеціальної форми Г6-26; *8* – осцилограф С1-54; *9* – індуктивний датчик тиску ДМІ-0,1; *10* – генератор імпульсів Г5-53; *11* – частотомір Ф5041; *12* – струминний підсилювач на елементах «Волга»; *13* – пневмоелектроклапан; *14* – дросель; *15* – лабораторний трансформатор (ЛАТР); *16* – джерело тиску; *17* – ваги ВЛКТ–500М; *18* – об'ємний газовий лічильник G4РЛ; *19* – Блок живлення постійного струму “Агат”

Рисунок 3.3 – Схема (*а*) і загальний вигляд (*б*) лабораторної установки (*джерело: розроблено автором*)

Кількість повторностей вимірювань визначали за формулою [23]:

$$N \geq \frac{t^2 V^2}{\varepsilon^2}, \tag{3.1}$$

де t – гарантійний коефіцієнт, при довірчій ймовірності $\alpha = 0{,}95$, $t = 1{,}96$;

V – очікуваний коефіцієнт варіації, %;

ε – максимальна відносна похибка середнього, при $\alpha = 0{,}95$, $\varepsilon = 5\%$.

Отримані дані перевірялися на наявність грубих помилок, які виключалися, якщо величина вимірювання більше або менше величин $lim\ x_{max}$ та $lim\ x_{min}$, визначуваних по формулам, згідно [22]:

$$lim\ x_{max} = \overline{x} + k(x_{max} - x_{min}); \tag{3.2}$$

$$lim\ x_{min} = \overline{x} - k(x_{max} - x_{min}), \tag{3.3}$$

де $limx_{max}$ и $limx_{min}$ – гранично можливі максимальні і мінімальні значення вимірювань у досліджуваному ряду;

$\overline{x}$ – середнє арифметичне значення ряду, обчислене без значень, які є грубими помилками вимірювання;

x_{max} и x_{min} – максимальне і мінімальне значення вимірювань у ряду;

k – коефіцієнт, що залежить від числа спостережень і вимірювань m. Приймаємо $k = 0{,}9$.

Подальшу обробку даних виконували методами математичної статистики [15, 19, 22, 23, 33, 35, 40, 62], які використовуються при довірчій оцінці результатів вимірювань.

Для оцінки відтворюваності вимірювань використовували критерій Кохрена, який визначається за формулою:

$$K_o = \frac{D_{max}}{\sum_{1}^{N} D_i}, \tag{3.4}$$

де D_{max} – максимальна дисперсія по рядках;

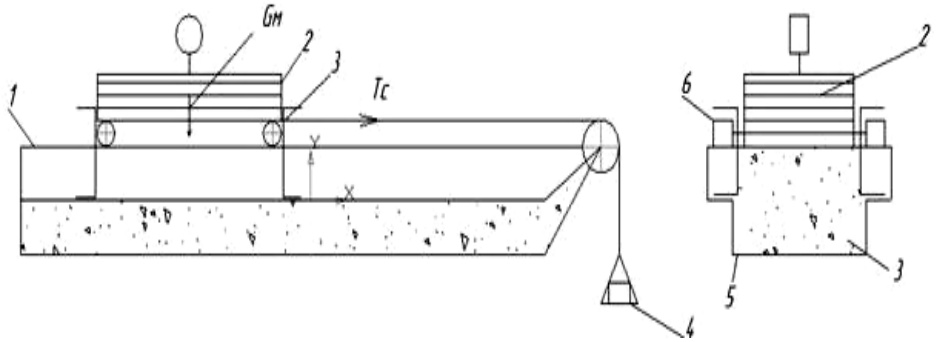
$\sum_{1}^{N} D_i$ – сума дисперсій по рядках.

Якщо отримане значення K_o менше табличного K_m, прийнятого за довірчої імовірності α = 0,95 і числі ступенів свободи серії f, то вимірювання в експерименті вважаються відтворюваними, а кількість повторностей – достатньою.

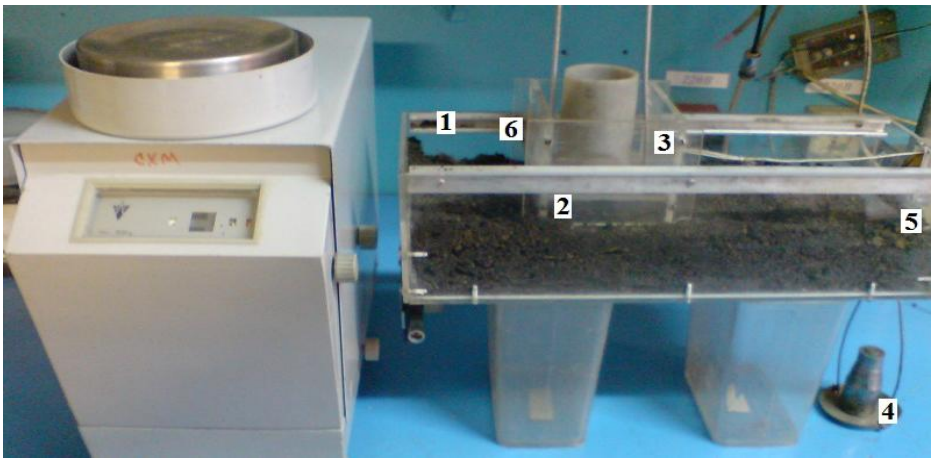
3.3 Методика досліджень реологічних властивостей технологічних матеріалів

Згідно з прийнятою моделлю сипучого тіла (п. 2.11), досліджено реологічні властивості технологічних матеріалів, що взаємодіють з робочими органами [57]. До них, зокрема, відноситься початковий опір зрушенню τ_0, що характеризує зв'язність у шарі ґрунту, підготовленого до сівби.

Зв'язність визначається залежністю граничних дотичних напружень від нормального напруження у шарі ґрунту, яку будують за результатами його випробувань на трибометрі, згідно [48-51], загальний вигляд і схема якого представлені на рис. 3.4.



а

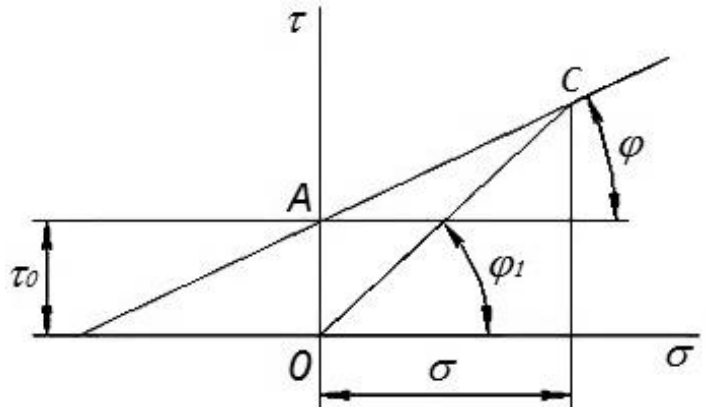


б

Рисунок 3.4 – Трибометр: схема (*а*); загальний вигляд (*б*) (позначення в тексті) (*джерело: розроблено автором*)

Порядок випробувань наступний. Жолоб *5* і рамку *3* заповнюють ґрунтом з щільністю, що відповідає його підготуванню до сівби, поверхня його вирівнюється. Ґрунт, що лежить в рамці *3*, притискають до ґрунту в жолобі *5* притискними пластинами *2*. Рамка катками *6* спирається на напрямні *1*. Вона з'єднана з вантажною чашкою *4* шнуром, перекинутим через блок. На чашку *4* поступово укладаються гирі, що продовжується до тих пір, поки рамка *3* не почне рухатися, роблячи зрізання ґрунту.

За результатами випробувань будується графік залежності граничних дотичних напружень від тиску в шарі ґрунту (рис. 3.5), що характеризує його зв'язність і сипучість.



σ – нормальний тиск; τ – дотичні напруження; τ_0 – початковий опір зрушенню; φ – кут внутрішнього тертя матеріалу

Рисунок 3.5 – Графік залежності граничних дотичних напружень від нормального тиску (*джерело: розроблено в [50], с. 16*)

Значення нормальних σ та дотичних τ напружень, необхідних для побудови графіку, обчислюють по формулах:

$$\sigma = \frac{G_M}{F_З}, \qquad \tau = \frac{T_З - T_P}{F_З}, \tag{3.5}$$

де G_M – сумарна вага притискних пластин і матеріалу у рамці;

$T_З$ – сила зрушення;

T_P – опір рухомої рамки і блоку. T_P = 0,054 Н;

$F_З$ – площа зрізання, F_C = 0,006 м^2.

Отриману серію експериментальних точок наносили на діаграму залежності $\tau - \sigma$ (рис. 3.5), а потім по цим точкам проводили пряму AC граничних дотичних напружень. Ця пряма в загальному випадку перетинає вісь ординат вище точки O, що характеризує зв'язність матеріалу. Відрізок OA визначає початковий опір зрушенню τ_0 ґрунту, підготовленого до сівби.

3.4 Методи експериментальних досліджень силових струминних елементів

Процеси, що відбуваються в струминних елементах при взаємодії потоків в обмеженому об’ємі складні і недостатньо вивчені. У зв'язку з цим виникає ряд ще не з'ясованих до кінця питань. До них відносяться: проблема оптимального вибору геометрії струминних елементів, отримання заданих характеристик, у відповідності до роботи [10], а також розробка і застосування виконавчих силових макроелементів.

За винятком окремих випадків, струминні виконавчі органи або силові елементи мають дуже обмежене застосування [28, 39], до того ж не в сільськогосподарській техніці.

Застосування силових макроелементів стримується рядом причин – відсутністю розроблених стандартних зразків у вигляді типорозмірних рядів та їх характеристик за такими параметрами як коефіцієнти підсилення, швидкодія, параметри вихідних процесів і частотні показники [29, 41]. Отже, для усунення цих стримуючих факторів в дисертаційній роботі проводяться дослідження на основі імітаційного моделювання, експериментальних досліджень аеродинамічних і економічних характеристик струминної техніки.

В даний час в дослідженні і розробці силових струминних елементів переважну роль відіграють не аналітичні, а експериментальні методи, основними з яких можна вважати наступні [17]:

– метод проб і помилок, при якому дослідник варіює геометричні розміри, спираючись на свою інтуїцію та більш або менш повні уявлення про механізм явищ;

– метод, заснований на візуалізації течій в елементах, полягає в тому, що потоки тим чи іншим способом роблять видимими. Змінюючи геометричні розміри, досягають потрібного напрямку потоків. Цей метод є різновидом методу проб і помилок в тому сенсі, що він не дає певних рекомендацій по зміні геометричних розмірів, але відрізняється наочністю;

– експериментально-статистичні методи, що дозволяють відшукати оптимум при вивченні об'єктів, механізму явищ, в яких невідомі або відомі не повністю (завдання «чорного ящика»). Ці методи дозволяють формалізувати процес емпіричного пошуку значень незалежних змінних, або факторів, при яких залежна змінна, розглянута як критерій якості, приймає оптимальне значення.

Експериментально-статистичні методи успішно використовували для розв'язування завдань оптимізації струминних елементів. Досвід показав, що від моменту створення працездатних елементів до розробки методів розрахунку їх характеристик проходить кілька років. Звісно, що аналітичними методами розрахунку можна вирішити цілий клас завдань оптимізації струминних елементів [36]. У той же час в більшості випадків достатньо створити один – два елемента, на базі яких може будуватися систему логічних або управляючих пристроїв. Тому в ряді випадків перевагу віддавали експериментальним методам, що дозволило без великої попередньої роботи, за мінімальний час створити конструкцію елемента з потрібними характеристиками [17].

Дослідження виконавчих силових макроелементів ґрунтувалося на загальнонаукових методах. Це, в основному, методи аналогії (подібності) та чисельного моделювання. Оскільки у великому числі випадків при спробі побудувати модель якого-небудь об'єкта неможливо було вказати відповідне детерміноване математичне формулювання. В процесі досліджень виявлено, що одним із плідних підходів до такого роду об'єктів є використання аналогій з уже вивченими явищами. При цьому використовували одну з найважливіших

властивостей моделей – їх універсальність, тобто застосування до об'єктів принципово різної природи [38].

3.4.1 Струминний елемент як об'єкт моделювання та оптимізації

Кінцевою метою дослідження струминних елементів є їх оптимізація, тобто одержання найкращого значення критерію, що характеризує якість елемента і пошук таких характеристик, які максимізували величину критерію. Зазвичай при дослідженні струминних елементів задавали робочий тиск живлення $p_{ж}$, розміри $b_{ж}$ і $h_{ж}$ сопла живлення, площа сопла живлення $s_{ж}$, а потім визначали геометричну конфігурацію елемента і витрату повітря $Q_{ж}$ через сопло живлення. При оптимізації струминних елементів здійснювали пошук такого поєднання геометричних розмірів, яке забезпечить максимально якісну роботу досліджуваного елемента. Отже, виявлено що незалежними змінними (факторами) при цьому є геометричні розміри елемента [17].

Тому, перш за все вибирали вихідну конфігурацію елемента на підставі рекомендацій, розроблених в роботі [11] або гідродинамічних досліджень, розрахунків та інтуїтивних уявлень. Єдиною вимогою, якій повинна задовольняти ця конфігурація є виконання елементом основних функцій і визначення величин параметрів, що входять в умови працездатності. Для дискретного елемента є достатнім, щоб він переключався при подачі сигналу управління і повертався у вихідний стан після зняття сигналу, що і є критерієм для даного типу елементів.

Таким чином, в роботі показано, що визначити конфігурацію, яка задовольняє вимогам, можна без великих затрат часу, методом проб і помилок. При цьому бажано, щоб ця вихідна конфігурація була наближена до оптимальної. Це дозволяє суттєво зменшити об'єм експериментів, необхідних для досягнення оптимальних значень. Крім того, виявлено, що істотним недоліком струминних елементів, що використовують взаємодію струменя зі стінкою, є чутливість до навантаження, яка полягає в тому, що на тиск і витрату робочого тіла при

перемиканні елемента помітно впливає навантаження. При цьому, чим більше опір навантаження, тим менше тиск і витрата спрацювання. Зменшення тиску спрацьовування по мірі збільшення тиску на виході є наслідком неправильної організації потоків на виході.

Визначення витрати живлячого повітря для силових струминних макроелементів, використовуваних у висівних системах, здійснювали об'ємним способом, з використанням експериментальної установки (рис. 3.3), на основі приладів для вимірювання тиску *6*, а також об'ємного лічильника *18*. Розрідження і тиск для роботи струминних елементів створює джерело живлення *16*, потужність якого регулюється за допомогою ЛАТР *15*.

3.4.2 Методика імітаційного моделювання робочого процесу бістабільного силового струминного елемента

Чим повніше досліджена картина течій в струминному елементі, тим менше дослідів необхідно для досягнення оптимальних показників. З цієї мети застосовували імітаційне моделювання робочого процесу силового струминного елемента.

Аналіз роботи бістабільного струминного елемента проводили за допомогою програмного пакету ANSYS Fluent 15.0, на основі якого моделювали перехідні процеси, що відбуваються в робочій камері елемента. Зауважимо, що імітаційне моделювання проводили у двовимірній постановці завдання.

При цьому протягом часу спрацьовування дискретного струминного елемента забезпечується робота висівного апарата з заданою частотою управляючих сигналів (приблизно 12...14 Гц). Для заданої конфігурації дискретного силового струминного елемента визначали картину перемикання при подачі на вхід управляючого впливу. В процесі імітаційного моделювання спочатку задавали геометрію струминного елемента, а на її підставі моделювали робочий процес. За характеристиками течій

визначали, чи задоволені вимоги до елементу. При необхідності його геометрію коригували і процес моделювання повторювали.

Імітаційне моделювання в даному випадку полягало у виборі моделі геометричної розрахункової області, методу дискретизації сітки, а також типу різницевої сітки. Наступним етапом імітаційного моделювання була перевірка того, як точно модель відтворює кількісні характеристики перехідних процесів.

Зазначимо, що для моделювання використовували виготовлені струминні макроелементи, із заданою геометрією (рис. 3.6). Зазначимо, що при цьому тривимірна модель струминного елемента (рис. 3.7) складалася з підвідних каналів (для живлення і управляючих сигналів), камери змішування і вихідних каналів (для вентиляції і вихідних сигналів).



1...10 – варіанти виконання силових струминних елементів

Рисунок 3.6 – Досліджувані струминні макроелементи

(*джерело: розроблено автором*)

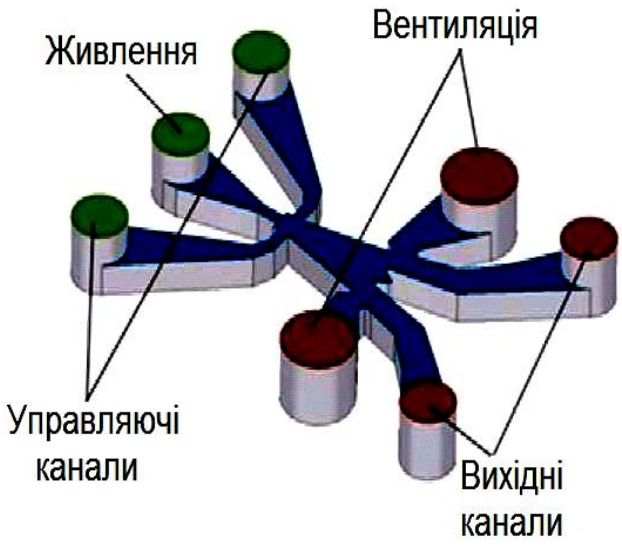


Рисунок 3.7 – Тривимірна модель бістабільного струминного елемента (*джерело: розроблено в [52], с. 926*)

Між вихідними каналами була розташована клиноподібна каверна, в якій має утворюватися вихор, стабілізуючий струмінь в одному з вихідних каналів. Визначення геометрії каверни також є одним із завдань розробки струминного елемента. У розрахунковій моделі висота каналів, на межах яких задавали умови виходу робочого тіла в навколишнє середовище, була збільшена, щоб зменшити вплив граничних умов на течію бістабільному силовому струминному елементі.

Для дискретизації розрахункової області використали неструктуровану різницеву сітку на основі тетраедрів, в якій було виконано згущення до меж розрахункової області.

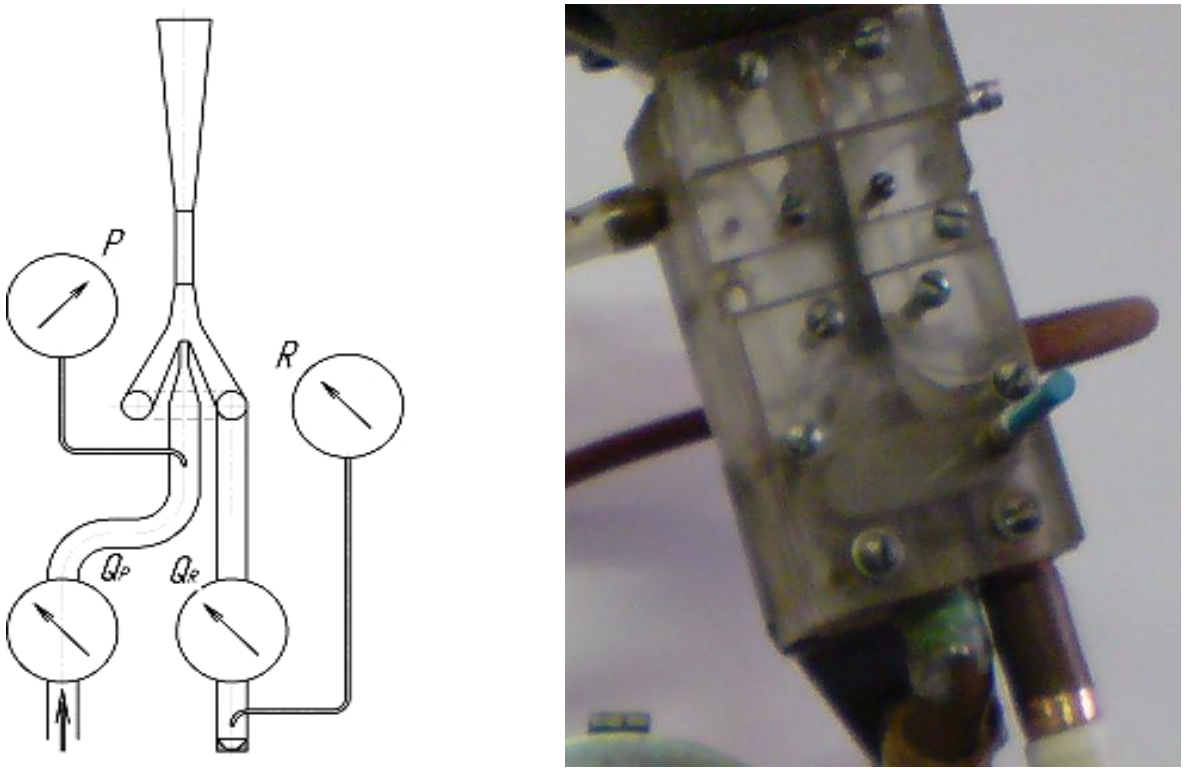
При розрахунку на вході в канал живлення встановлювали надлишковий тиск $7\ кПа$ і температуру $300\ К$, а напрямок векторів швидкості – перпендикулярно межі. Надлишковий тиск в управляючих каналах передбачався постійним і за величиною становив $5\ кПа$. Таким чином, імітувався керуючий сигнал. На стінках елемента в процесі моделювання виставляли умови непротікання, прилипання і теплоізольованості.

3.4.3 Методи досліджень струминного елемента-ежектора

При роботі досліджуваних висівних апаратів необхідні як надлишковий тиск, так і розрідження. Джерело надлишкового тиску у висівній системі за допомогою елемента-ежектора створює розрідження в робочих камерах висівного апарату. Тому елементи-ежектори дозволяють відмовитися від вакуум-насосів і ексгаустерів, що спрощує конструкцію пневмоструминних висівних пристроїв і систем, а також підвищує їх надійність.

Використовували елемент-ежектор плоского типу [30, 44], з соплом не круглого, а прямокутного перерізу, який простіший у виготовленні. Схема стендових випробувань та загальний вид елемента-ежектора представлені на рис. 3.8.

Згідно зі схемою (рис. 3.8, *а*) прилади для вимірювання витрати (лічильник



а *б*

P – прилад для виміру надлишкового тиску; *R* – прилад для виміру розрідження; Q_P – прилад для виміру об'єму робочого повітря; Q_R – прилад для виміру об'єму переміщуваного повітря

Рисунок 3.8 – Випробування елемента-ежектора висівної системи: схема випробувань (*а*); загальний вид елемента-ежектора (*б*) (*джерело: розроблено автором)*

G6РЛ, реометр-індикатор Т-2-80), а також тиску і розрідження (напоровимірювач НМП-100У3, тяговимірювач ТНМП-100У3) встановлювали від джерел на відстані *L*, що визначається за формулою, згідно роботі [7]:

$$L \geq 0{,}69 \cdot Re^{0{,}25} \cdot D, \tag{3.6}$$

де *Re* – число Рейнольдса;

D – діаметр повітряпроводу (внутрішній діаметр трубок прийнятий у розмірі 0,012 м).

Під час експериментальних досліджень значення надлишкового тиску живлення елемента-ежектора змінювали в межах *P* = 1…8 кПа.

3.5 Методика стендових досліджень розроблених струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки

3.5.1 Дослідження запропонованих струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки на нерівномірність і нестійкість висіву

Висівні апарати повинні подавати безперервний і рівномірний вихідний потік насіння, посів насіння повинен бути стійким, насіння при висіві не повинно пошкоджуватися [33].

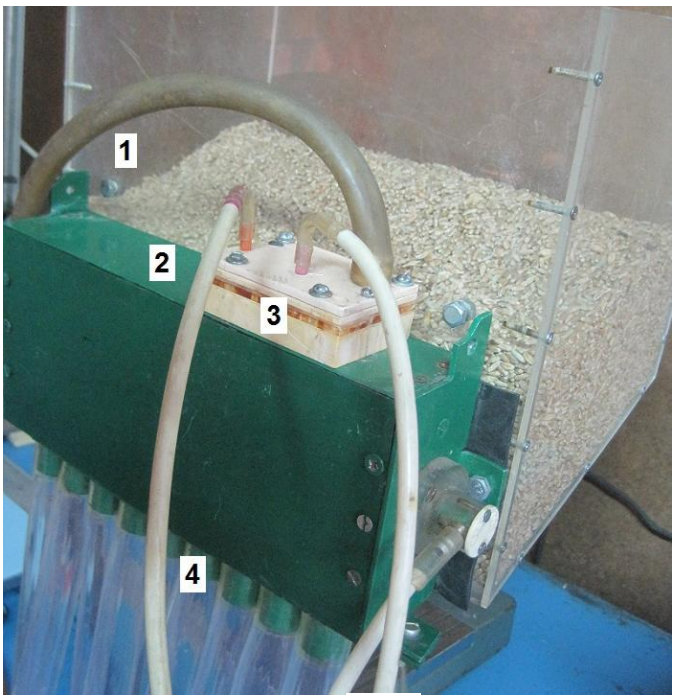
Запропоновані конструкції і принцип дії досліджуваних струминних висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки (рис. 3.9...3.13) розглянуті у розділі 4.



а *б*

1 – насіннєпроводи; *2* – висівний апарат; *3* – регулювальна заслінка; *4* – бункер для насіння; *5* – сигнальні трубки

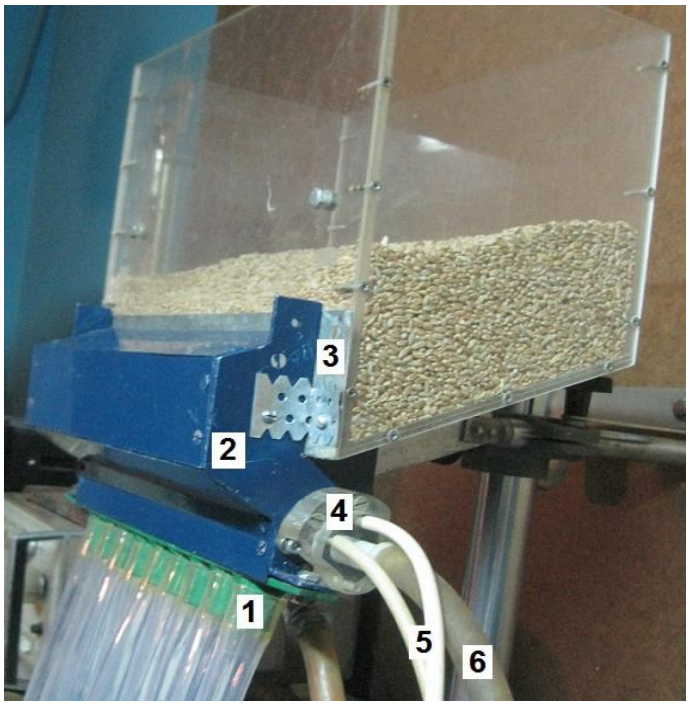
Рисунок 3.9 – Макет (*а*) та загальний вигляд (*б*) запропонованого універсального висівного апарата з елементами пневмоніки для зернових культур: (*джерело: розроблено автором*)



1 – бункер для насіння; *2* – висівний апарат;

3 – пневматичний підсилювач; *4* – насіннєпроводи

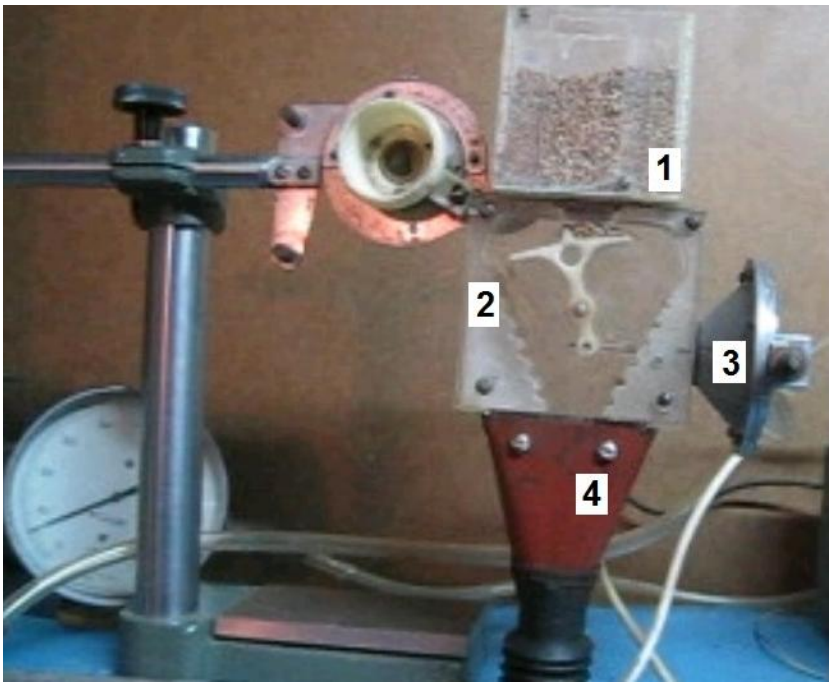
Рисунок 3.10 – Загальний вигляд запропонованого струминного висівного апарата з пневматичним підсилювачем (*джерело: розроблено автором*)



1 – насіннєпроводи; *2* – висівний апарат; *4* – вихровий клапан;

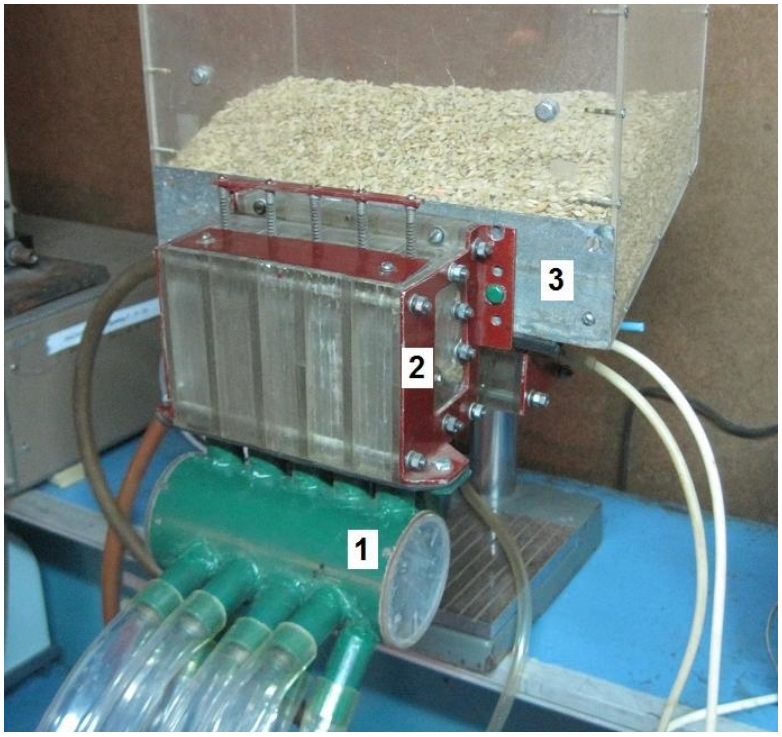
5 – управляючі трубопроводи; *6* – живлячий трубопровід

Рисунок 3.11 – Загальний вигляд запропонованого висівного апарата с вихровим клапаном для зернових культур (*джерело: розроблено автором*)



1 – бункер для насіння; *2* – висівний апарат; *3* – привод; *4* – насіннєпровід

Рисунок 3.12 – Загальний вигляд запропонованого маятникового висівного апарату (*джерело: розроблено автором*)



1 – розподілювач; *2* – висівний апарат; *3* – бункер для насіння

Рисунок 3.13 – Загальний вигляд запропонованої пневматичної висівної системи для зернових культур з вихровим розподільником насіння (*джерело: розроблено автором*)

Робочий процес будь-якого висівного пристрою повинен задовольняти агротехнічним вимогам. З кількісної сторони оціночними показниками роботи апарату виступають коефіцієнти середньої нерівномірності висіву H,% між окремими апаратами (патрубками у блочному апараті) і нестійкості висіву $H_в$,% окремими апаратами (патрубками у блочному апараті). Їх величини при сівбі зернових культур не повинні перевищувати відповідно 5 і 3%, відповідно [37].

На підставі представлених вимог до роботи висівних апаратів та існуючих методик проведення лабораторних досліджень процесу висіву [5, 6, 8, 9, 12, 13, 40, 15, 33, 35], поставлено завдання проведення експериментальних досліджень, метою яких є визначення агротехнічних показників, параметрів і режимів роботи розроблених висівних пристроїв з елементами пневмоніки. При оцінці рівномірності створюваного вихідного потоку насіння застосовували такі способи [33]:

- зерновий струмінь спрямовували на стрічку, покриту клейким складом і рівномірно переміщається зі швидкістю, що відповідає швидкості посівної машини;
- зважували насіння, що висівається апаратами за певну кількість обертів привода або за певний час.

Експериментальні дослідження висівних пристроїв здійснювали на установці, представленій на рис. 3.3.

Штатив *1* з поворотним кронштейном *2* призначені для кріплення ємності з насінням *3* і апаратом *4*, а також зміни кута нахилу апаратів у вертикальних поздовжній і поперечній площинах.

Висівні апарати та їх системи управління працюють від пневматичної мережі надлишкового тиску, що складається з джерела тиску *16*, керованого ЛАТР *15* і регулюючого дроселя *14*. Тиск у пневмомережі контролюється відповідними приладами *6*.

Для імітації дискретної системи синхронізації, що управляє висівними апаратами, до складу установки входить генератор імпульсів каліброваної амплітуди *10*, блок живлення *19*, пневмоелектроклапан *13* і струминний

підсилювач *12*. Для контролю параметрів пневмоімпульсів застосовували електронно-лічильний частотомір *11*, генератор імпульсів спеціальної форми *7*, електронно-променевий осцилограф *8* та індуктивний датчик *9*.

За допомогою генератора імпульсів встановлювали тривалість і частоту електричних імпульсів, які подаються на пневмоелектроклапан, призначений для перетворення електричного сигналу в пневматичний, за рахунок зворотно – поступального руху заслінки, що перекриває вхідний штуцер з частотою поданих електричних сигналів. Отриманий пневматичний сигнал через підсилювач, що складається з елементів струминної автоматики типу "Волга" (рис. 3.2), подавали на висівний апарат. Значення тривалості і частоти імпульсів відображені на табло частотоміра.

Для контролю вірогідності значень амплітуди і тривалості, управляючий пневмоімпульс подавали на вхід індуктивного датчика тиску *9*, що отримує електроживлення від блоку *19* "Агат", а також високочастотні сигнали від генератора сигналів спеціальної форми *7*, потім пневмоімпульс перетворюється в електроімпульс і надходить на екран осцилографа *8*.

Відбір проб висіяного насіння здійснювали в мірну ємність *5*. Зважування проб проводили на вагах (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Зважування висіяного насіння (*джерело: розроблено автором*)

Виходячи з виду насіння, вибирали частоту пневмоімпульсів. Рекомендована частота при сівбі насіння зернових культур становить 12...14 Гц

[2, 46, 47, 53, 56, 58]. Проби для визначення подрібнення і пошкодження насіння відбирали під час дослідження нерівномірності висіву окремими апаратами (з господарської норми), об'єднуючи для цього в середню пробу насіння, висіяне усіма апаратами за повторність. Вміст пошкодженого насіння попередньо визначали у вихідному матеріалі. По різниці пошкодженого насіння, що пройшло через висівні апарати (насіннєпроводи), і у вихідному матеріалі визначали подрібнення та пошкодження насіння висівними апаратами.

3.5.2 Методика дослідження поздовжнього розподілу насіння струминними висівними пристроями з елементами пневмоніки

Дослідження висіву вихідного потоку насіння на стрічку з визначенням якісних показників розподілу насіння вздовж рядка проводили на стенді, схема та загальний вигляд якого представлено на рис. 3.15, *а, б*.

До складу стенду з липкою стрічкою (рис. 3.15) входили наступні прилади і обладнання:

1. Горизонтальний стрічковий транспортер з липкою ділянкою стрічки 6,5 м та шириною 0,2 м.

2. Автотрансформатори ЛАТР і РНО-250-5, випрямляч.

3. Електродвигун постійного струму П-21 потужністю 1,5кВт.

4. Джерела надлишкового тиску і розрідження "Сатурн" і "Буран".

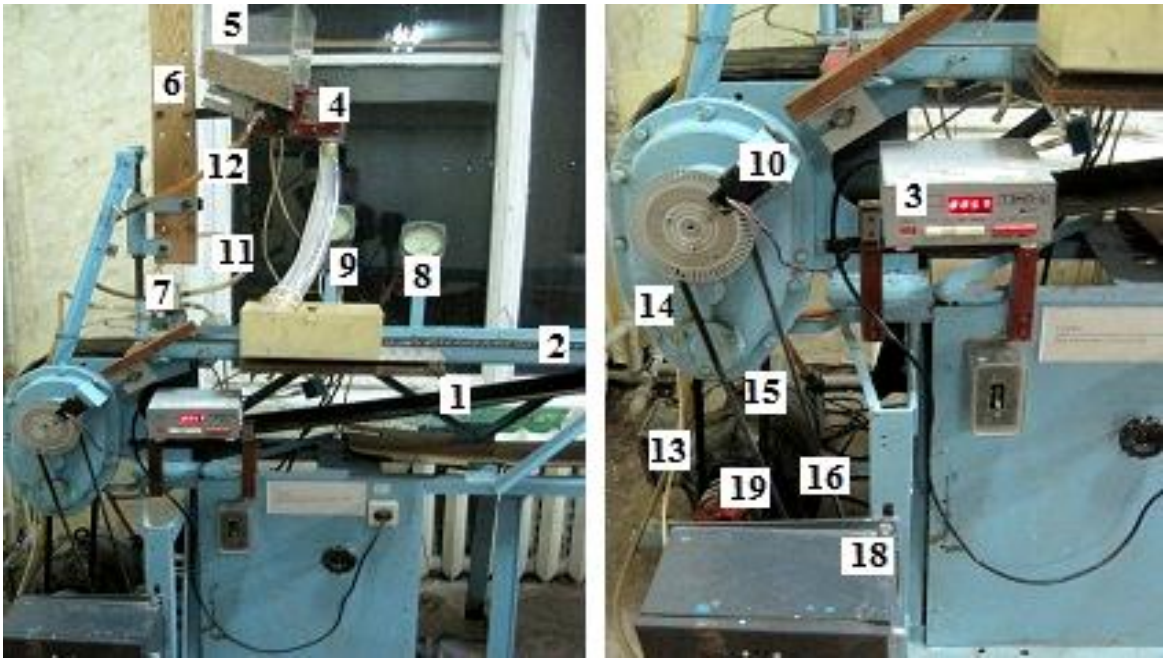
5. Тахометр електронний ТЕМП-4 (похибка вимірювань ±1,0%).

6. Напороміри НМП-52У3 (1,5), НМП-100У3 (2,5), тягоміри ТНМП-100У3 (2,5).

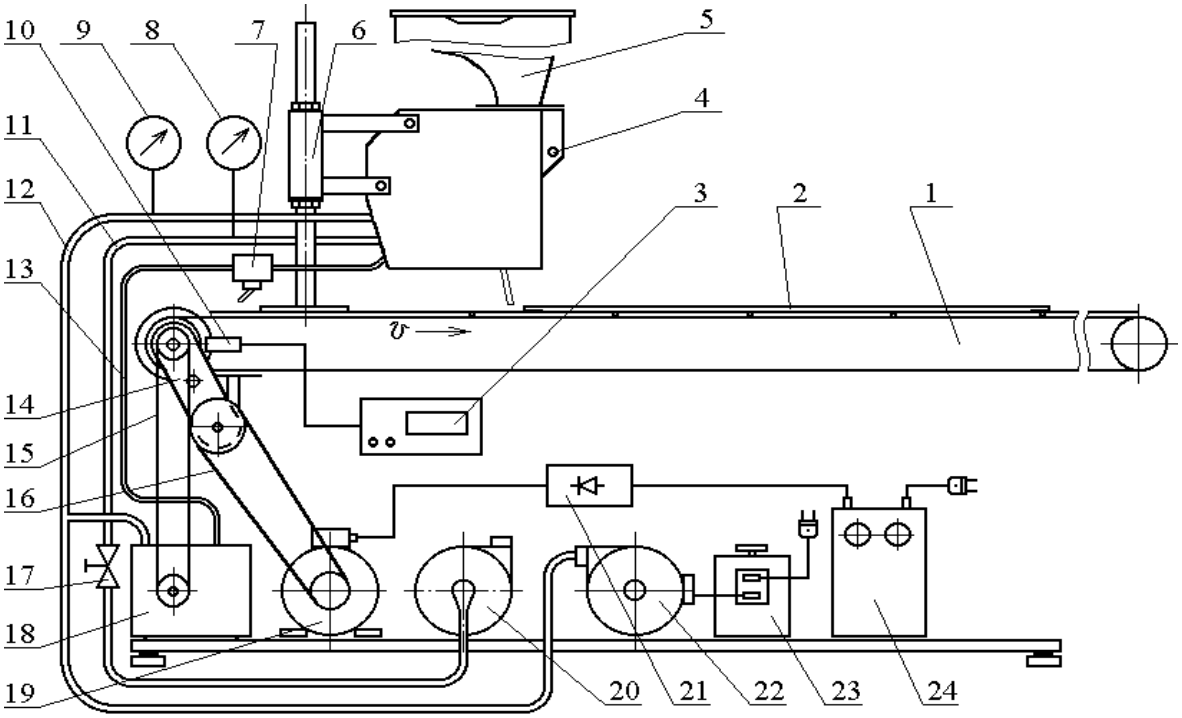
7. Мірна рулетка довжиною 10 м і ціною поділки ±1 мм.

8. Блок управління висівної системою.

Норму висіву задавали блоком управління *17*, який пов'язаний з вихідним валом редуктора *14* транспортера через клиновий ремінь *16*. В склад блоку управління входить перфодиск, датчик швидкості, колодка зі струминними елементами і лінія затримки пневмоімпульсів. При русі стрічки транспортера *1*



а



б

1 – транспортер; *2* – мірна сітка; *3* – тахометр; *4* – висівний апарат з насіннєпроводами; *5* – бункер; *6* – штатив; *7* – перемикач; *8* – тягомір; *9* – напоромір; *10* – фотодатчик; *11, 12* – повітряпроводи розрідження і надлишкового тиску; *13* – сигнальна трубка; *14* – редуктор; *15, 16* – клинові паси; *17* – вентиль; *18* – блок управління; *19* – електродвигун; *20, 22* – джерела розрідження і надлишкового тиску; *21* – діодний міст; *23, 24* – автотрансформатори

Рисунок 3.15 – Загальний вигляд (*а*) и схема (*б*) стенда для дослідження рівномірності прокольного розподілу насіння (*джерело: розроблено автором*)

обертання передається на перфодиск і датчик швидкості генерує пневматичні синхроімпульси, які посилюються в блоці управління, і далі по сигнальній трубці *13* через перемикач *6* надходять до висівного апарату. Зміну таких параметрів як висота скидання насіння, тиск пневмотранспортування і швидкість руху стрічки здійснювали на установці відповідно за допомогою штатива *7* й автотрансформаторів *23*, *24*. На заліковій довжині стрічки нанесений шар солідолу, який призначений для фіксації висіяних насінин. Для вимірювання показників розподілу насіння на заліковій ділянці використовували платформу-лінійку *2*, яка вільно переміщується по ребрах боковин рами транспортера. Вимірювальна частина платформи-лінійки виконана з оргскла, на якому нанесена шкала з ціною поділки 1 мм. Контроль швидкості руху стрічки транспортера здійснювали електронним тахометром *3* за допомогою фотодатчика *10*. Величина тиску (розрідження) повітряного потоку вимірюється напороміром *9* або тягоміром *8*.

Експеримент починали з встановлення необхідної норми висіву, запускали відповідний висівний пристрій і здійснювали висів у ємність протягом 30 секунд, для забезпечення встановленого режиму роботи. Після цього включали привод транспортера і виконували висів на липку стрічку. Після проведення висіву на ділянці припиняли подачу матеріалу.

Якість рядкового посіву оцінювали поздовжньої нерівномірністю розподілу – числом п′ятисантиметрових відрізків з 0, 1, 2, 3 ... *n* кількістю насінин (дискретне розподіл) або щільністю величин інтервалів між насінням (безперервний розподіл).

Загальний порядок виконання роботи на стенді:

- бункер заповнювали насінням не менш ніж на 1/3 об'єму;
- вмиканням електродвигуна приводили в рух липку стрічку;
- після покриття стрічки насінням електродвигун вимикали;
- підраховували кількість насіння на п′ятисантиметрових ділянках.

Оцінка рівномірності висіву насіння і розподілу його на стрічці визначали наступними статистичними характеристиками:

- середня кількість насінин на ділянках:

$$x_{cp} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot m_i \Big/ n, \tag{3.7}$$

де P_i – кількість ділянок з m_i насінин;

m_i – кількість насінин на ділянках;

n – кількість ділянок.

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot (x_{cp} - m_i)^2 \Big/ n-1}. \tag{3.8}$$

- коефіцієнт варіації:

$$V = \left(\sigma / x_{cp}\right) \cdot 100\%. \tag{3.9}$$

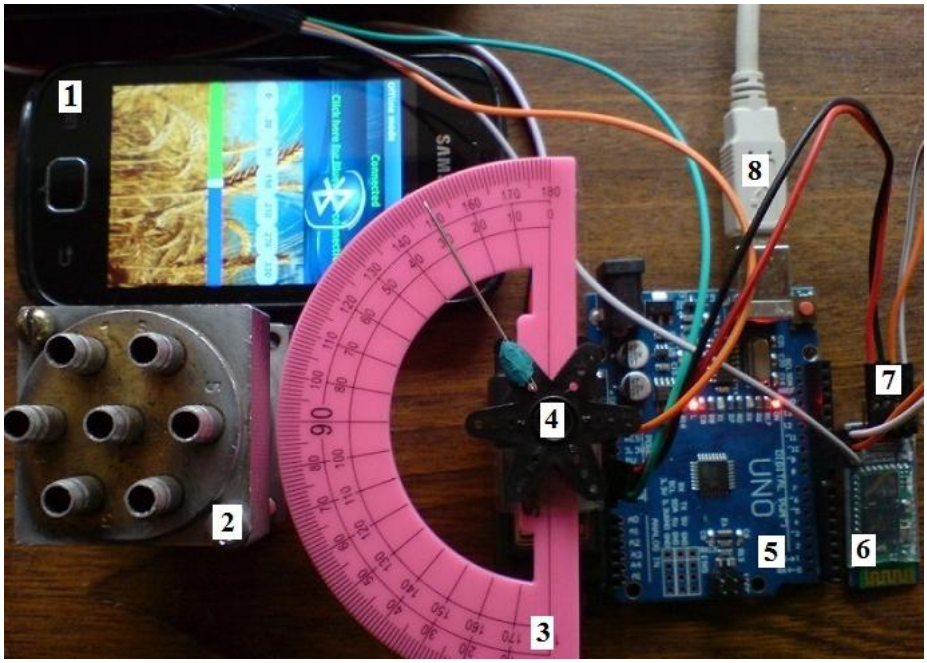
3.6 Методика досліджень управління процесом висіву на основі програмно-апаратного комплексу з мехатронним модулем

Лабораторні випробування програмно-апаратного комплексу регулювання норми висіву з мехатронним модулем (рис. 3.16) полягали у забезпеченні повороту серводвигуна на певний кут, відповідний розташуванням патрубків пневматичної перемикача блоку управління.

В ході експериментальних досліджень управління процесом висіву використовували наступні прилади і обладнання:

1. Обчислювальний пристрій – смартфон GT-S5660.
2. Перемикач пневматичний багатопозиційний ППМ УХЛ 4.
3. Транспортир (похибка вимірювань ± 1,0 мм).
4. Серводвигун Futaba S3003 (максимальний кут повороту: 180°; робоча напруга: 4,8…6,0 В; робоча швидкість: 60º/0,23 при 4,8 В та 60º/0,19 с при 6В крутний момент: 3,2 кг×см при 4,8 В та 4,1 кг×см при 6 В).

5. Програмно-апаратна платформа Arduino Uno (мікроконтролер ATmega 328; робоча напруга 5 В).
6. Bluetooth-модуль HC-0,5 (діапазон частот радіозв'язку: 2,4…2,48 ГГц; потужність передачі: 0,25…2,5 мВт; чутливість: -80 db; напруга живлення: 3,3…5,0 В; споживаний струм: 50 мА; радіус дії: до 10 метрів;
7. Комплект з'єднувальних проводів.
8. Блок живлення Seekwood напругою 5 В з конектором.



1 – обчислювальний пристрій (смартфон або планшет); *2* – перемикач пневматичний багатопозиційний; *3* – транспортир; *4* – серводвигун; *5* – платформа Arduino; *6* – bluetooth-модуль; *7* – з'єднувальні проводи; *8* – конектор блоку живлення

Рисунок 3.16 – Загальний вид програмно-апаратного комплексу з мехатронним модулем для лабораторних випробувань регулювання норми висіву (*джерело: розроблено автором*)

За допомогою інтерфейсу програмного забезпечення обчислювального пристрою серводвигун від вертикального (нейтрального) положення повертали на фіксовані кути повороту (30, 90, 150, 210, 280^0), забезпечуючи автоматизовану зміну норми висіву в online або offline режимах.

3.7 Методика визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем

3.7.1 Вибір і обґрунтування методики та критеріїв оцінки енергетичної та техніко-економічної ефективності

При оцінці техніко-економічної ефективності машин і технологій СГВ використовується вартісний критерій оцінки в грошовому еквіваленті. Проте в сучасних умовах цього недостатньо, оскільки даний критерій піддається істотним, часто необґрунтованим коливанням і визначається політикою ціноутворення. Зазначимо, що дефіцит енергоносіїв вимагає такого підходу до оцінки технологічних процесів і машин, який враховував би також і енергетичні витрати. Виявлено, що такий підхід забезпечує паливно-енергетичний аналіз. Він дає можливість оцінки техніки і технологій з точки зору енергетичної ефективності. При цьому враховували витрати як прямої, так і упредметненої енергії, тобто енергії палива та енерговитрат на виробництво машин. За такими сукупними витратами і оцінювали техніко-економічну ефективність. Паралельно проводили оцінка і за іншими критеріями – витрат праці, матеріалів, коштів і т. п. [20, 21, 31, 43].

В роботах Е. І. Базарова [1], А. С. Міндріна [26, 27], В. І. Пастухова [32], Н. В. Костюченкова, О. М. Плаксіна [54], І. Масло [55] а також у [25, 61] розглянуто і запропоновано методики аналізу та оцінки сільськогосподарського виробництва з урахуванням особливостей даної галузі. В основі цих методик лежить визначення повних витрат енергії на виробництво (повної енергоємності) на основі застосування енергетичних еквівалентів, відповідних енергетичним витратам та уречевлених у виробничих ресурсах. Також розраховані величини енергетичних еквівалентів на матеріальні засоби, що беруть участь у виробництві продукції.

Застосування в процесі аналізу цих еквівалентів дає можливість всі види робіт і витрат призвести до загального показника – Джоуля. Зазначимо, що енергетичний еквівалент являє собою витрати енергії, витрачені на виробництво ресурсу [26, 27].

Енергетичні показники дозволили дати порівняльну оцінку витрат у різних фізичних одиницях при використанні тієї чи іншої технології, зокрема, витрати

палива (л), живої праці (чол-год.), техніки (мото-год., умовн. гектар) в єдиних енергетичних показниках – МДж [16].

Поряд із загальноприйнятими методами оцінки техніко-економічної ефективності через трудові і вартісні показники останнім часом у світовій практиці все більше застосовували показники співвідношення акумульованої в продукції і витраченої на її створення енергії. Це дає можливість більш точно врахувати і скоротити не тільки прямі витрати енергії на технологічний процес і операції, але й енергію, акумульовану в різних засобах виробництва і виробленій продукції [3].

3.7.2 Методика вибору нормативної бази для порівняння при визначенні очікуваного техніко-економічного ефекту досліджень

Важливим моментом забезпечення порівнянності результатів розрахунків техніко-економічної ефективності досліджень є правильний вибір бази для порівняння. Для отримання об'єктивної оцінки посівних машин необхідне порівняння їх з машинами-аналогами, як це передбачено відповідною методикою визначення техніко-економічних показників [24].

Виявлено, що обов'язковою умовою розрахунку техніко-економічної ефективності є дотримання принципу порівнянності, що передбачає єдність критерію оцінки, методики визначення показників, нормативної бази та умов експлуатації [42].

За існуючою методикою, техніко-економічну ефективність машин визначали при постійних умовах – на одному типовому агрофоні та режимі роботи, при одному варіанті агрегатування, постійному агротехнічному терміні, встановленому для даної культури у даній природно-кліматичній зоні робіт, заданій ширині захвату і т. д. [4, 24, 42].

При дослідженнях і випробуваннях порівнювали однотипні машини між собою та з еталонним зразком. Передбачені види оцінок включали в себе велику кількість показників, причому це число, як за типами машин, так і за видами оцінок є різним. Так агротехнічна оцінка різних посівних машин включає 21 показник, економічна – 13, енергетична – 16 і т. д. [18].

Виявлено, що техніко – економічні показники агрегатів і машин, прийнятих для порівняння, багато в чому залежали від умов експлуатації. Тому при розрахунку ефективності машин на всіх стадіях їх розробки застосовували усереднені або типові для зони умови, що відповідали агротехнічним вимогам на технологічні операції [42].

Нормативна база включала в себе нормативні коефіцієнти ефективності використання капітальних вкладень і людських ресурсів, норми відрахування на реновацію, ремонти і технічне обслуговування, витрати на техніку та паливно-мастильні матеріали, річну завантаження агрегатів. Нормативи на всіх етапах техніко-економічної оцінки приймали однаковими, і за величиною витрат відповідали чинним в момент виконання розрахунків, за винятком тих випадків, коли сам норматив повинен розраховуватися. Наприклад, на етапі розробки агрегату, складеного з принципово нових машин і знарядь, приймали розрахункова вартість, а на стадії впровадження – прейскурантну.

Окрім нормативів, при розрахунку використовували також технічні та експлуатаційно-технологічні показники порівнюваних машин, а також машин, що входять в агрегат, точніше розрахункові дані самого агрегату.

На всіх етапах створення машин ряд показників визначали для базових машин. До числа таких показників відносяться, перш за все, робоча швидкість і ширина захвату. Технічні та експлуатаційно-технологічні показники порівнюваних машин приймали за паспортними даними. При розробці агрегату, що складається з принципово нових машин або робочих органів ці показники, як по агрегату, так і по порівнюваним машин розраховували на основі агротехнічних вимог, наявних аналогів і наукових даних, а при відсутності таких джерел визначали на основі теоретичних розрахунків, згідно роботи [42].

Висновки по третьому розділу

1. Запропонована методологія експериментальних досліджень та визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем. Складено структурну послідовність її реалізації.

2. Показано, що експериментальні дослідження в запропонованій методології спрямовані на доповнення і підтвердження теоретичних досліджень, а також на застосування в тих випадках, коли інші методи не забезпечують рішення поставлених проблемою завдань.

3. Обґрунтовано структуру, методи і методики експериментальних досліджень, які передбачають реалізацію циклу експериментів, спрямованих на дослідження силових пневмоструминних елементів, з метою визначення їх оптимальних геометричних розмірів і режимів роботи, на агротехнічну оцінку розроблених висівних пристроїв і дослідження з автоматизації та управління процесом висіву в розроблених висівних пристроях.

4. Встановлено, що для досягнення оптимальних показників конструкцій і робочого процесу силових струминних елементів висівних апаратів необхідно застосовувати імітаційне моделювання у двомірній постановці на основі програмного пакету ANSYS Fluent 15.0, в якому моделювали перехідні процеси, що відбуваються в робочій камері елементів.

5. Показано, що робота висівних пристроїв з елементами пневмоніки і струминної техніки повинна задовольняти агротехнічним вимогам. З кількісної сторони оціночними показниками роботи висівних пристроїв виступають коефіцієнти середньої нерівномірності висіву H,% між окремими апаратами і нестійкості висіву $H_в$,% окремими апаратами. Їх величини при посіві зернових культур не повинні перевищувати відповідно 5 і 3%.

6. Встановлено, що при здійсненні оцінки і реалізації результатів досліджень необхідно ґрунтуватися на визначенні показників енергетичної ефективності висівних апаратів і систем, а також на визначенні ефективності досліджень за показником мінімуму приведених витрат у різних варіантах посівних агрегатів. Показано, що при розрахунку приведених витрат більш раціонально використовувати енергетичні еквіваленти капіталовкладень і оборотних коштів, оскільки за енергетичною оцінкою простіше і природніше судити про ефективність технологій або машин.

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА ВИСІВНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ СТРУМИННОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИСІВОМ

4.1 Обґрунтування конструктивно-компонувальних схем струминних висівних апаратів, пристроїв і систем з елементами пневмоніки

На основі застосування елементів пневмоніки в якості логічних і виконавчих пристроїв можливі розробка і створення нових висівних апаратів і систем для зернових сівалок [1, 5, 10, 11, 26, 27, 29, 32, 33, 45, 51-53].

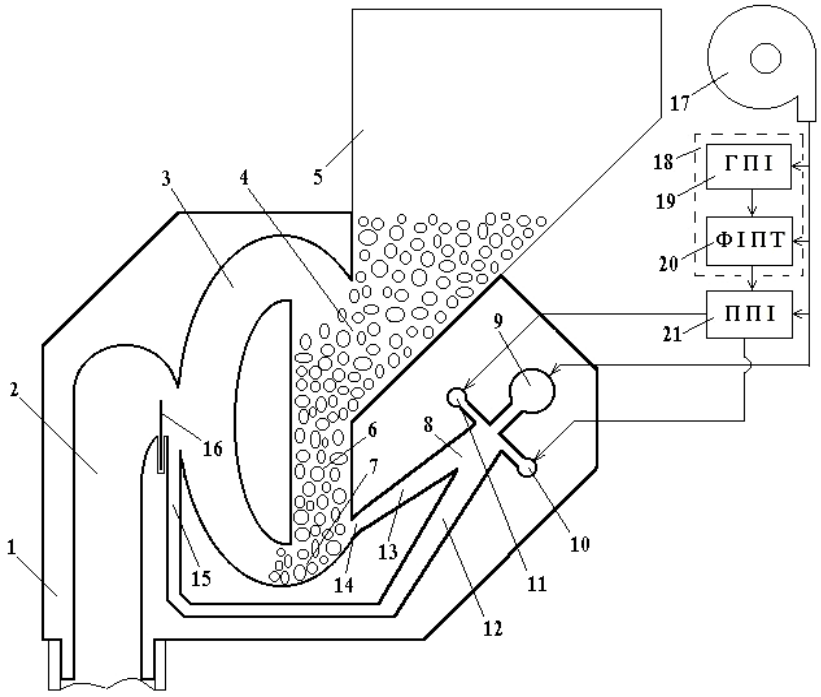
В основі роботи висівних пристроїв з елементами пневмоніки і їх систем управління закладено ті ж самі фундаментальні принципи, на яких базується і робота електроніки. Це алгебра логіки [31]. Таким чином, розглянута раніше тенденція збільшення ступеня вепольності має місце і в даному випадку, з створенням імпульсного поля сил в процесі роботи розглянутих пристроїв.

Спосіб висіву насіння на основі дозатора з циркуляційним рухом насіння в робочій камері [33, 36, 37] (рис. 4.1) забезпечує висів насіння в необхідному діапазоні норм за рахунок кількісного регулювання потоку посівного матеріалу.

Це досягається тим, що аерацію, відбір і пневмотранспортування насіння виконують модульованими по частоті і діючими в одному напрямі на насіння силовими пневмоімпульсами постійної тривалості від силових елементів пневмоніки, а сигнальні пневмоімпульси, які надходять до силових елементів пневмоніки і управляють ними, виробляються та посилюються логічними елементами пневмоніки.

Спосіб сівби посівного матеріалу здійснюється таким чином. Насіння з бункера *5* через вхідне вікно *4* і камеру стабілізації 6 поступає в камеру постійного об'єму *7*, де воно в результаті взаємодії з пневматичним імпульсом постійної тривалості із сопла *14* від силового струминного елементу *8,* спрямовується до вихідного розвантажувального вікна з регулювальною

заслінкою *16*. В залежності від ступеня відчинення регулювальної заслінки *16*, частина матеріалу у вигляді мікропорцій відділяється і поступає до вихідного насіннєпровода *2*, а частина, що залишилася, пневматичним імпульсом з сопла *15* по кільцевому каналу *3* спрямовується назад, у камеру стабілізації *6*. Таким чином, має місце цикл висіву порції насіння, який багатократно повторюється.



1 – корпус; *2* – насіннєпровід; *3* – кільцевий канал; *4* – вхідне вікно; *5* – бункер; *6* – камера стабілізації; *7* – камера постійного об′єму; *8* – силовий струминний елемент; *9* – сопло живлення; *10, 11* – сопла управління; *12, 13* – вхідні канали; *14, 15* – сопла; *16* – вихідне вікно з регулювальною заслінкою; *17* – джерело надлишкового тиску; *18* – блок синхронізації; *19* – генератор пневматичних імпульсів (ГПІ); *20* – формувач імпульсів постійної тривалості (ФІПТ); *21* – посилювач пневматичних імпульсів (ППІ)

Рисунок 4.1 – Схема запропонованого циркуляційного висівного апарата з елементами пневмоніки (*розроблено в [36], с. 2*)

Повітря під надлишковим тиском надходить з джерела *17* та поступає на живляче сопло *9* силового струминного елементу, а також до генератора пневматичних імпульсів *19*, формувача пневматичних імпульсів постійної тривалості *20* та підсилювача пневматичних імпульсів *21*.

Пневматичні імпульси вироблюються генератором пневматичних імпульсів *19*. Далі вони калібруються формувачем пневмоімпульсів постійної тривалості *20,* який разом з генератором пневматичних імпульсів утворює блок *18* синхронізації процесу сівби із швидкістю переміщення посівної машини. Остаточно пневматичні імпульси підсилюються у підсилювачі пневматичних імпульсів *21* та послідовно надходять до сопел управління *10* і *11* силового виконуючого струминного елемента *8* з вихідними каналами *12* і *13*.

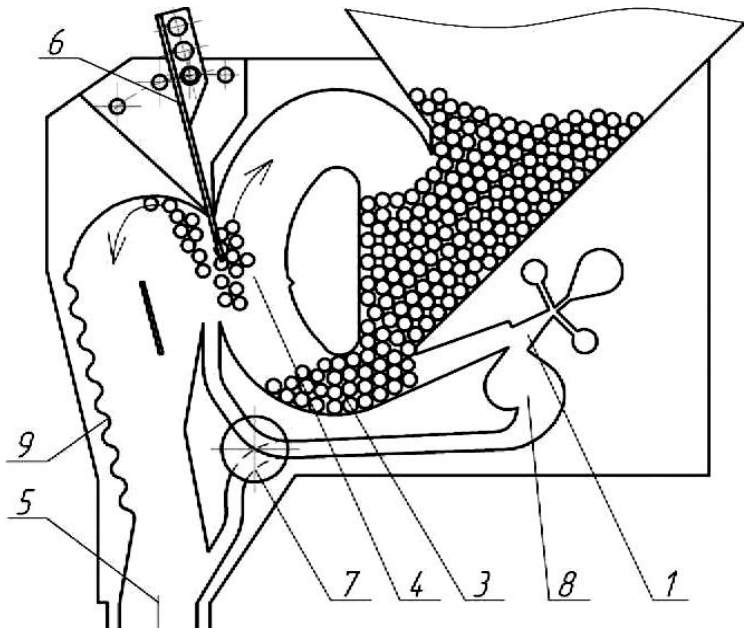
Це викликає перемикання струменя повітря в силовому елементі *8* з вихідного каналу *12* в вихідний канал *13*. Імпульс постійної тривалості, що поступає в вихідний канал *13*, через сопло *14* надходить в камеру постійного об'єму *7*, де аерує насіння, відбирає і транспортує порцію насіння в насіннєпровід *2*. В період відсутності імпульсів постійної тривалості, у вихідному каналі *12* виникає пневмоімпульс, який через сопло *15* потрапляє в кільцевий канал *3* і насіннєпровід *2* та передається посівному матеріалу. Це дозволяє швидко перемістити відібраний посівний матеріал до місця призначення, тобто в сошник або назад в камеру стабілізації. Для цього, в залежності від ступеня відчинення заслінки *16*, порція насіння, що надходить з камери постійного об'єму *7*, ділиться на порцію, що надходить в насіннєпровід і далі до сошника, та на порцію, яка повертається назад по кільцевому каналу *3* до камери стабілізації *6*.

При запропонованому способі окремі частини з насіння-повітряними каналами та силовими струминними елементами складено в єдиний висівний апарат, або блок, кількість виходів якого дорівнює кількості сошників сівалки.

Запропонований спосіб дозволяє знизити нерівномірність сівби насіння, втрати і ушкодження посівного матеріалу, енергоємність процесу сівби, спростити налагодження на норму висіву і автоматизувати робочий процес.

У подальших дослідженнях встановлено, що для якісного і надійного формування вихідного потоку насіння відповідно до агротехнічних вимог, у висівних апаратах з елементами пневмоніки для зернових культур розміри повітряних каналів і отворів надходження посівного матеріалу необхідно приймати завідомо збільшеними, з метою забезпечення стабільного, без утворення склепінь, руху посівного матеріалу з бункера.

Оскільки насіння зернових культур має істотне розходження в фізико-механічних властивостях, то для вдосконалення пристроїв на основі розглянутого способу висіву (рис. 4.1) необхідно в конструкціях і в компонувальних схемах передбачити наступні додаткові елементи, що розширюють діапазон і універсальність застосування висівного апарата (рис. 4.2), згідно [32, 35].



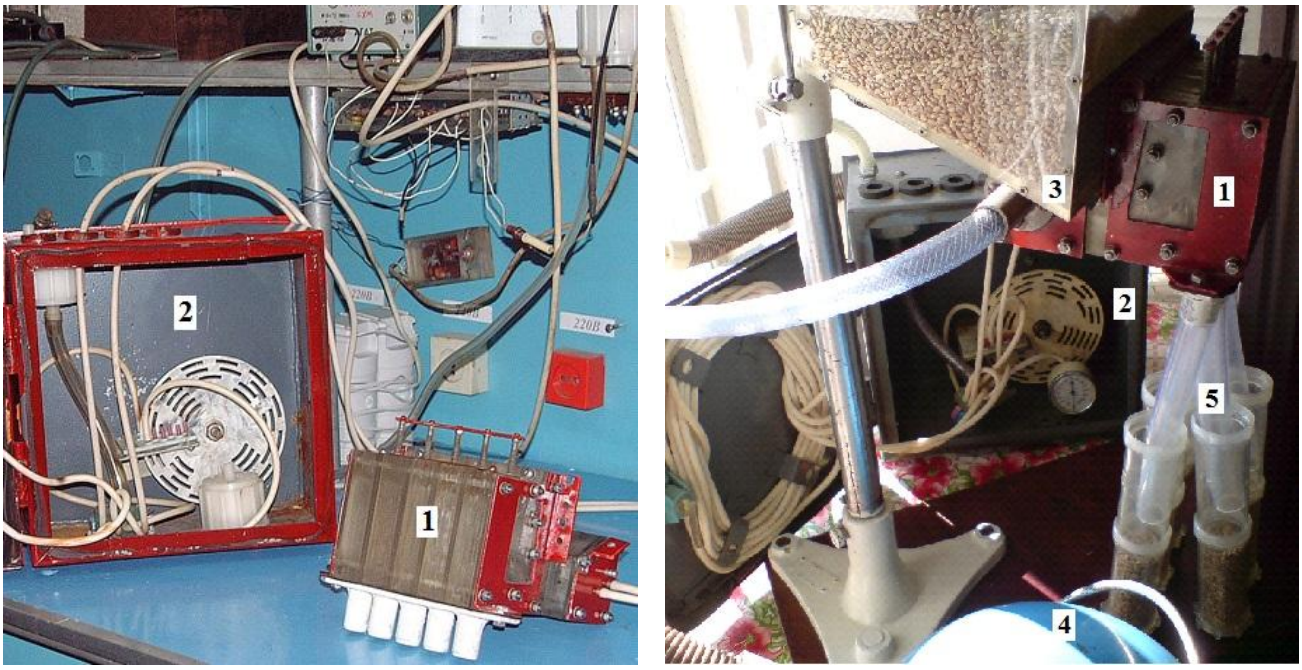
1 – струминний елемент; *2, 4, 5* – завантажувальний, кільцевий і вихідний канали; *3* – робоча камера; *6* – регулювальна заслінка; *7* – перемикач; *8, 9* – опори

Рисунок 4.2 – Схема запропонованого універсального висівного апарата з елементами пневмоніки для зернових культур (*розроблено в [32], с. 340; [35]*)

Діапазон норм висіву розширюється за рахунок установки похилої заслінки *6*, яка дозволяє не тільки змінювати прохідний перетин вихідного каналу *5*, але й перекривати кільцевий канал *4* для отримання максимальних значень норм висіву. Мінімальні значення норм висіву можуть бути досягнуті частотним регулюванням, із зменшенням частоти пневмоімпульсів менш, ніж 6 Гц. Для зменшення пульсацій потоку насіння вихідний канал (насіннєпровід) виконується з опором *9*, що турбулізує порції посівного матеріалу.

Для нормалізації повітряного режиму в кільцевому каналі при зміні положення похилої заслінки *6* служить перемикач *7*, що дозволяє перенаправляти повітряний потік від струминного елемента *1* у вихідний канал *5*.

Підвищення надійності роботи силового струминного елемента досягається установкою на його виході опору *8*, що зменшує ежектування повітря з камери *3* та запобігає забиванню каналів при нахилах сівалки. Загальний вигляд універсального висівного апарата для зернових культур і висівної системи на його основі представлено на рис. 4.3.



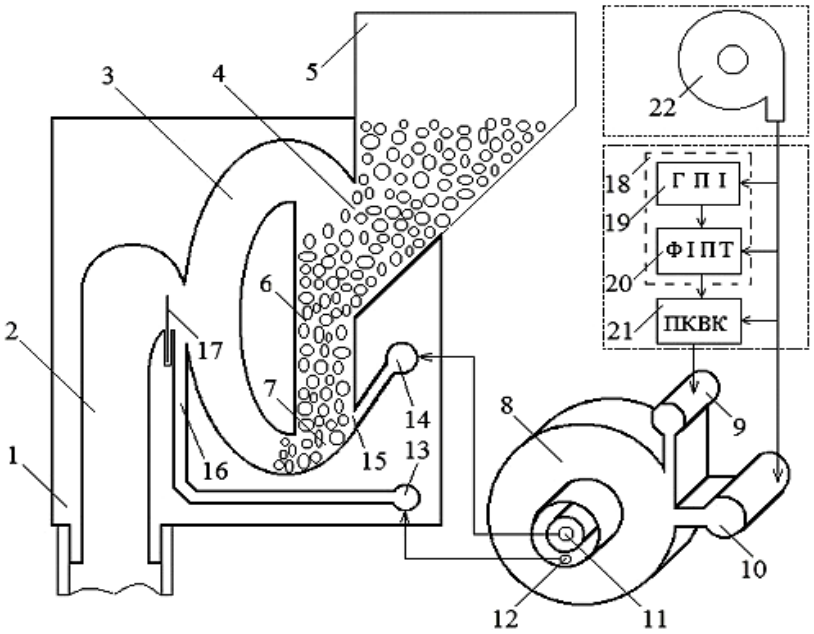
а *б*

1 – висівний апарат; *2* – блок управління; *3* – бункер;
4 – джерело тиску; *5* – насіннєпроводи

Рисунок 4.3 – Запропонований універсальний висівний апарат без рухомих деталей (*а*) і висівна система в зборі (*б*)
(*джерело: розроблено в [51], с. 129)*

В висівній системі, згідно [38], замість силового струминного елемента використовується струминний вихровий клапан, що подає пневмоімпульси, які діють на посівний матеріал аналогічно схемам на рис. 4.1 і 4.2. Застосування вихрового клапана дозволяє знизити енергоємність процесу висіву і спростити налагодження висівного апарата на норму висіву.

На рис. 4.4 зображено запропоновану пневматичну висівну систему з вихровим клапаном.



1 – корпус; *2* – насіннєпровід; *3* – кільцевий канал; *4* – вхідне вікно; *5* – бункер; *6* – камера стабілізації; *7* – камера постійного об′єму; *8* – вихровий пневмоклапан; *9* – сигнальний вхід; *10* - вхід живлення; *11, 12* – виходи; *13, 14* – вхідні канали; *15, 16* - насінневі сопла; *17* – регулювальна заслінка; *18* – синхронізатор потоку посівного матеріалу; *19* – генератор пневматичних імпульсів; *20* – формувач імпульсів постійної тривалості (ФІПТ); *21* – пристрій керування вихровим клапаном (ПКВК); *22* – джерело надлишкового тиску

Рисунок 4.4 – Схема запропонованого струминного висівного апарата з вихровим клапаном (*джерело: розроблено в [38], с. 3)*

Пневматична висівна система працює наступним чином. Насіння з бункера *5* через отвір витікання *4* і камеру стабілізації *6* поступає в камеру постійного об'єму *7*, де воно в результаті взаємодії з пневматичним імпульсом постійної тривалості із насіннєвого сопла *15* від вихрового клапана *8* спрямовується до вихідного розвантажувального вікна з регулювальною заслінкою *17*. В залежності від ступеня відчинення регулювальної заслінки *17*, частина матеріалу у вигляді мікропорцій відділяється і поступає до вихідного насіннєпровода *2*, а частина, що залишилася, пневматичним імпульсом із насіннєвого сопла *16* по кільцевому каналу *3* спрямовується назад, до камери стабілізації *6*. Таким чином, має місце цикл висіву порцій насіння, який багатократно повторюється.

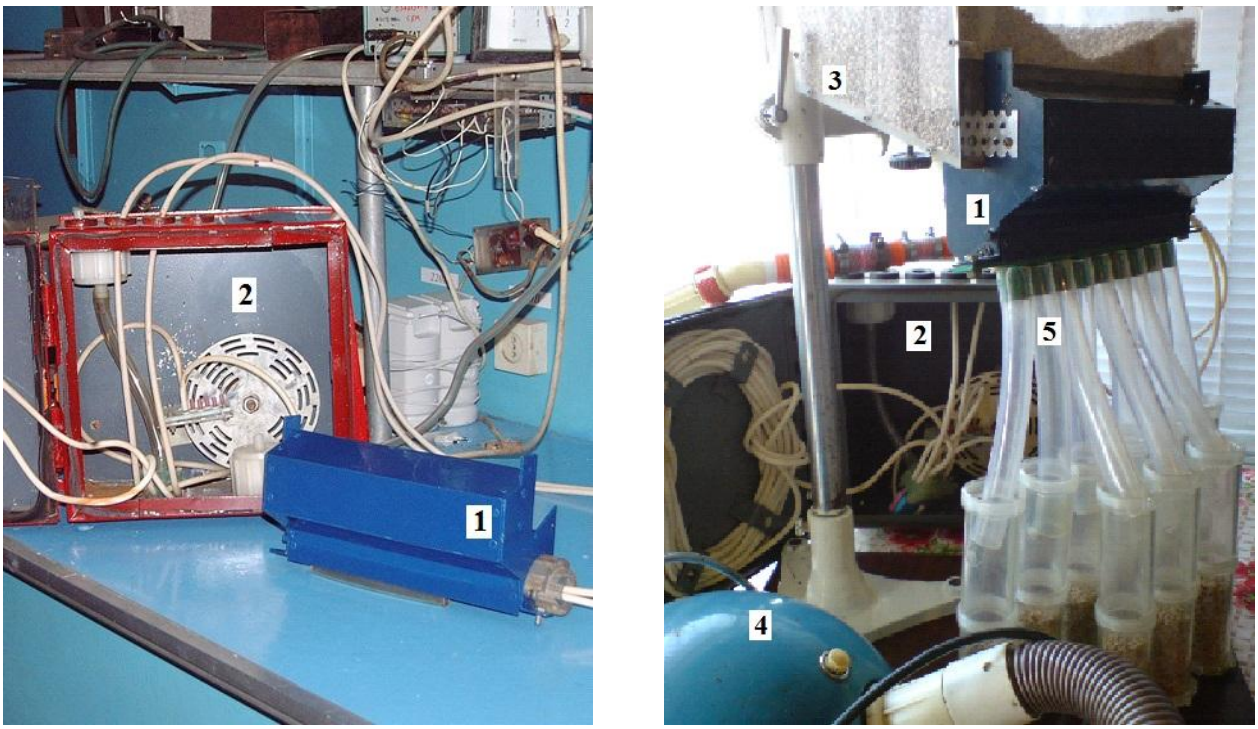
Повітря під надлишковим тиском надходить від вентилятора *22* та поступає на живлячий вхід *10* вихрового клапана, а також до генератора пневматичних імпульсів *19*, формувача пневматичних імпульсів постійної тривалості *20* та пристрою керування вихровим клапаном *21*.

Пневматичні імпульси вироблюються генератором пневматичних імпульсів *19*. Далі вони калібруються формувачем імпульсів постійної тривалості *20*, який разом з генератором пневматичних імпульсів утворює блок *18* синхронізації процесу сівби із швидкістю переміщення посівної машини. Далі пневматичні імпульси поступають до пристрою керування вихровим клапаном *21* та послідовно надходять до сигнального входу *9* вихрового клапана *8*, що викликає перемикання повітряного струменя від живлячого входу *10* між виходами *11* і *12*, відповідно до частоти пневмоімпульсів.

Виходи *11* і *12* з'єднано із вхідними каналами *13* і *14*, які сполучені з насіннєвими соплами *15* і *16*. Імпульс постійної тривалості після перемикання струменя повітря в вихровому клапані *8* з виходу *12* на вихід *11* поступає до вхідного каналу *14* і через насіннєве сопло *15* надходить в камеру постійного об'єму *7*, де аерує насіння, відбирає і транспортує порцію насіння в насіннєпровід *2*. В період відсутності імпульсів постійної тривалості, у вхідному каналі *13* виникає пневмоімпульс, який через насіннєве сопло *16* потрапляє до кільцевого каналу *3* і в насіннєпровід *2* та передається посівному матеріалу. Це дозволяє швидко перемістити відібраний посівний матеріал до місця призначення, тобто в сошник або назад до камери стабілізації *6*. Для цього, в залежності від ступеня відчинення заслінки *17*, порція насіння, що надходить з камери постійного об'єму *7*, ділиться на порцію, що надходить в насіннєпровід і далі до сошника, та на порцію, яка повертається назад по кільцевому каналу *3* до камери стабілізації *6*.

Загальний вигляд висівного апарата з вихровим клапаном для зернових культур і висівної системи на його основі представлено на рис. 4.5.

Для поліпшення рівномірності висіву насіння зернових культур по сошниках, в особливості при роботі на схилах, на основі робіт [46, 49, 50] для струминних висівних систем, згідно [30, 39], пропонується вихровий розподільник посівного матеріалу (рис. 4.6).

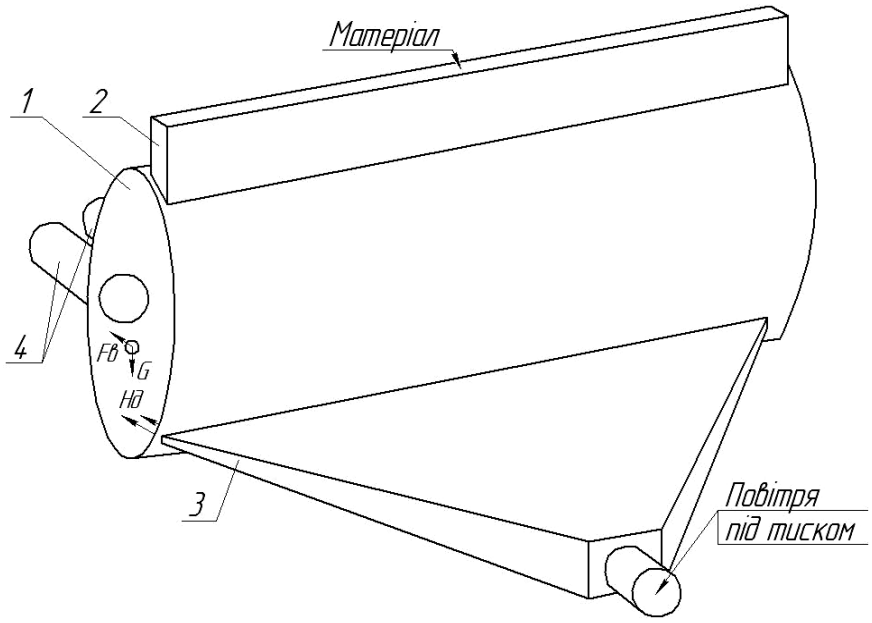


а *б*

1 – висівний апарат; *2* – блок управління; *3* – бункер;

4 – джерело тиску; *5* – насіннєпроводи

Рисунок 4.5 – Запропонований висівний апарат з вихровим клапаном (*а*) і висівна система в зборі (*б*) (*джерело: розроблено в [51], с. 128)*



1 – циліндричний корпус; *2* – вхідні патрубки; *3* – дифузор; *4* – вихідні патрубки;

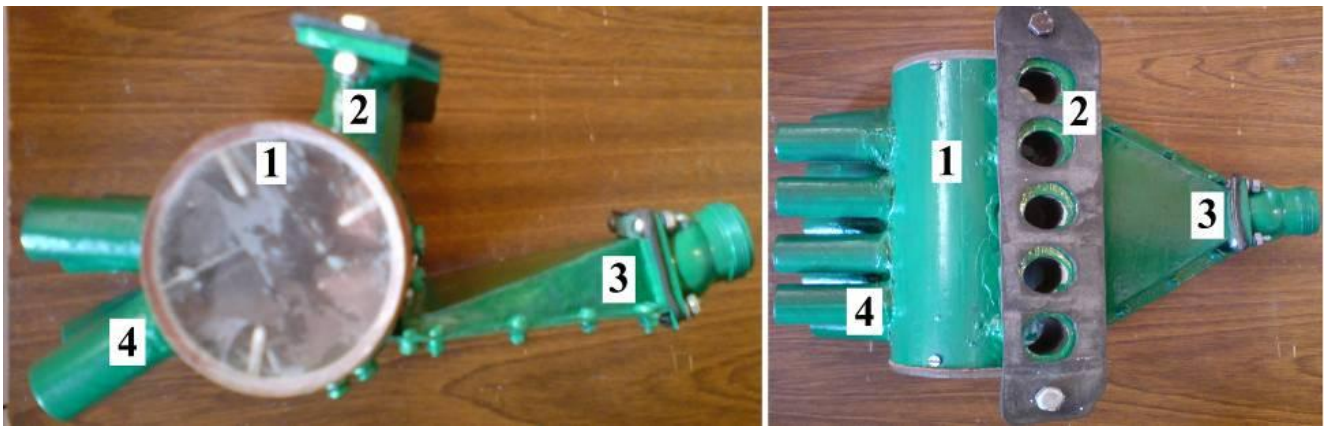
$F_Ц$ – відцентрова сила; *G* - сила тяжіння; $H_Д$ – динамічний напір повітря

Рисунок 4.6 – Схема запропонованого вихрового розподільника насіння (*джерело: розроблено в [30, 39], с. 2)*

Розподіл і висів насіння здійснюється наступним чином. Насіння від висівного апарату надходять в циліндричний корпус *1* через блок вхідних патрубків *2*. Повітря під тиском тангенціально надходить в корпус *1* через дифузор *3* і взаємодіє з насінням, обертаючи його усередині корпусу, в результаті впливу на матеріал динамічної складової $H_д$ від повного напору повітря. Під дією відцентрової сили $F_ц$, яка притискає насіння до корпусу, воно потрапляє у вихідні патрубки *4*, звідки повітряним потоком транспортуються до сошників і на дно борозни. Радіус *R* корпусу *1* підібрано таким чином, щоб відцентрова сила $F_ц$, яка діє на частинку матеріалу була більшою, ніж сила тяжіння *G*, яка теж діє на частинку матеріалу і негативно впливає на рівномірність розподілу насіння по сошникам, особливо на схилах полів.

Таким чином, в результаті компенсації дії сили тяжкості *G* відцентровою силою $F_ц$, підвищується рівномірність розподілу насіння. Крім того, пропонований розподільник по суті є перетворювачем потоку посівного матеріалу з дискретного в аналоговий, компенсуючи порційність вихідного потоку насіння і перетворюючи його в безперервний.

Загальний вигляд струминного вихрового розподільника насіння для зернових культур представлено на рис. 4.7.

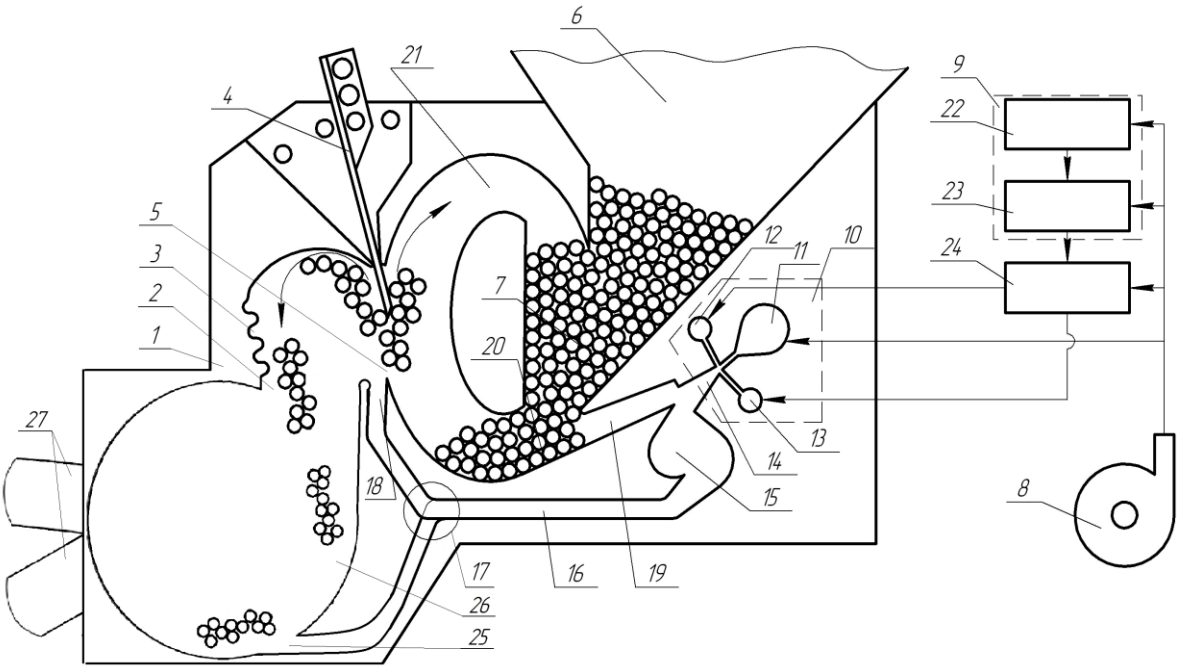


1 – корпус; *2* – вхідні патрубки; *3* – дифузор; *4* – вихідні патрубки

Рисунок 4.7 – Загальний вигляд запропонованого струминного вихрового розподілювача насіння (*джерело: розроблено [53], с. 197)*

На основі вихрового розподільника насіння запропоновано пневматичну висівну систему (рис. 4.8), згідно [40]. Метою її розробки є зниження питомої

витрати повітря та підвищення рівномірності подачі насіння при нахилах висівного апарата. Сівалки з такою висівною системою можуть бути застосовані для сівби на схилах.



1 – висівний апарат; *2* – насіннєпровід; *3* – турбулізатор; *4* – регулювальний клапан; *5* – вихідне вікно; *6* – бункер; *7* – камера стабілізації; *8* – джерело надлишкового тиску; *9* – блок управління; *10* – силовий струминний елемент; *11* – живляче сопло; *12, 13* – сопла управління; *14* – вихідне сопло; *15* – опір; *16* – вихідний канал; *17* – перемикач; *18* – насіннєве сопло; *19* – вихідний канал; *20* – камера постійного об′єму; *21* – кільцевий канал; *22* – генератор пневматичних імпульсів; *23* – формувач пневматичних імпульсів постійної тривалості; *24* – посилювач пневматичних імпульсів; *25* – сопло; *26* – вихрова камера; *27* – вихідні патрубки

Рисунок 4.8 – Запропонована пневматична висівна система

(*джерело: розроблено в [40], с. 3)*

Пневматична висівна система працює наступним чином. Насіння з бункера *6* самочинно потрапляє до камери стабілізації *7*, а потім поступає в камеру постійного об'єму *20*, де воно в результаті взаємодії з пневматичним імпульсом постійної тривалості, що поступає із вихідного каналу *19*, вихідного сопла *14* силового струминного елементу *10*, спрямовується до вихідного вікна *5* з

регулювальною заслінкою *4*. У залежності від ступеня відчинення регулювальної заслінки *4*, частина матеріалу у вигляді мікропорцій відділяється і потрапляє до вихідного насіннєпровода *2*, а частина, що залишилася, пневматичним імпульсом з насіннєвого сопла *18* по кільцевому каналу *21* спрямовується назад до камери стабілізації *7*. Таким чином, має місце цикл висіву порцій насіння, який багатократно повторюється.

Мікропорція насіння, що відділилася та потрапила до вихідного насіннєпровода *2*, надходить до вихрової камери *26*, куди також тангенціально під тиском надходить повітря із сопла *25* і взаємодіє з насінням, обертаючи його всередині вихрової камери *26*. У результаті впливу відцентрової сили, яка притискає насіння до внутрішньої поверхні вихрової камери *26*, насіння потрапляє до вихідних патрубків *27*, звідки повітряним потоком транспортуються до сошників та на дно борозни. Радіус вихрової камери підібрано таким чином, щоб відцентрова сила, діюча на насіння була більше, ніж сила тяжіння, яка діє на насіння і негативно впливає на рівномірність розподілу при нахилах висівного апарата. Таким чином, внаслідок компенсації дії сили тяжіння відцентровою силою, підвищується рівномірність розподілення насіння при нахилах висівного апарата.

Повітря під надлишковим тиском надходить від вентилятора *8* та поступає на живляче сопло *11* силового струминного елементу *10*, а також до генератора пневматичних імпульсів *22*, формувача пневматичних імпульсів постійної тривалості *23* та підсилювача пневматичних імпульсів *24*.

Пневматичні імпульси вироблюються генератором пневматичних імпульсів *22*. Далі вони калібруються формувачем імпульсів постійної тривалості *23*, який разом з генератором пневматичних імпульсів утворює блок *9* синхронізації процесу сівби із швидкістю переміщення посівної машини. Остаточно пневматичні імпульси підсилюються у підсилювачі пневматичних імпульсів *24* та послідовно надходять до сигнальних входів *12* і *13* силового виконуючого струминного елементу *10*. Це викликає перемикання струменя повітря в силовому елементі *10* між вихідними каналами *16* і *19*.

Імпульс постійної тривалості, що поступає у вихідний канал *19* надходить в камеру постійного об'єму *20*, де аерує насіння, відбирає і транспортує порцію

насіння в насіннєпровід *2*. В період відсутності імпульсів постійної тривалості у вихідному каналі *19* виникає пневмоімпульс у вихідному каналі *16*, який через насіннєве сопло *18* передається посівному матеріалу в результаті чого останній потрапляє в кільцевий канал *21* і насіннєпровід *2*. Це дозволяє швидко перемістити відібраний посівний матеріал до місця призначення, тобто до вихрової камери *26* або назад, до камери стабілізації *7*. Для цього, в залежності від ступеня відчинення заслінки *4*, порція насіння, що надходить з камери постійного об'єму *20*, ділиться на порцію, що надходить в насіннєпровід і далі, до вихрової камери *26* , та на порцію, яка повертається назад по кільцевому каналу *21* до камери стабілізації *7*.

Для зменшення впливу пульсацій потоку матеріалу, що надходить до насіннєпровода *2*, внаслідок дискретної дії пневмоімпульсів, у вихідному каналі насіннєпровода *2* передбачено турбулізатор *3*.

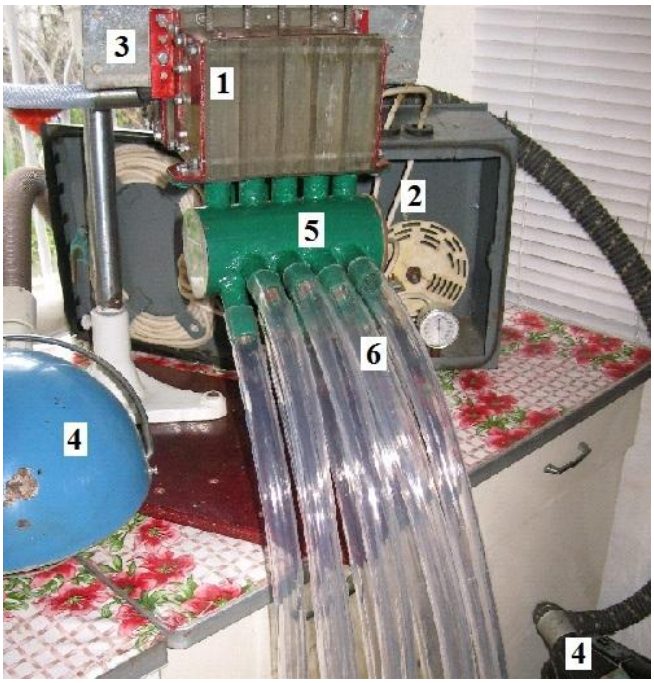
Для нормалізації значення тиску в кільцевому каналі *21* при зміні положення заслінки *4* служить перемикач *17*, що дозволяє перенаправляти повітряний потік від струминного елементу *10* у вихідний канал насіннєпровода *2* для пневмотранспортування посівного матеріалу до вихрової камери *26*.

Підвищення надійності роботи струминного елементу 10 досягається встановленням на його виході опору *15*, який зменшує перетікання повітря з камери постійного об'єму *20* і запобігає забиванню каналів при нахилах апарату.

В запропонованій пневматичній висівній системі окремі частини з насіннєповітряними каналами та силовими струминними елементами складено в єдиний висівний апарат, або блок, на виході якого встановлено вихрову камеру *26*, розміри якої дозволяють в два рази збільшити кількість вихідних патрубків *27*, що дозволяє використовувати один блок апаратів замість двох, тим самим значно зменшуючи питому витрату повітря.

Таким чином, запропонована пневматична висівна система дозволяє підвищити рівномірність подачі насіння при нахилах висівного апарата та знизити питому витрату повітря.

Загальний вигляд запропонованої пневматичної висівної системи для зернових культур на основі висівного апарата з елементами пневмоніки і струминного вихрового розподільника насіння представлено на рис. 4.9.

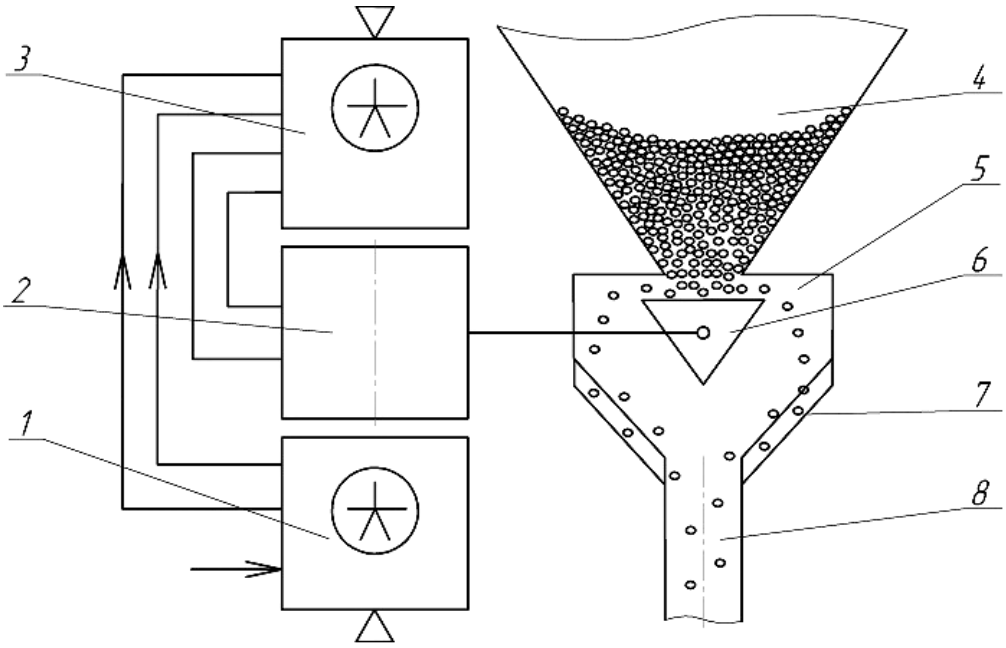


1 – висівний апарат; *2* – блок управління; *3* – бункер; *4* – джерело тиску; *5* – вихровий розподілювач насіння; 6 – насіннєпроводи

Рисунок 4.9 – Загальний вигляд запропонованої пневматичної висівної системи (*джерело: розроблено автором)*

Для поліпшення стійкості і надійності висіву насіння зернових культур, згідно [12, 52], пропонується конструкція пневматичної висівної системи з маятниковим висівним апаратом (рис. 4.10). Сівалки з такими висівними апаратами можуть також застосовуватися для внесення добрив та висіву несипкого посівного матеріалу.

Пневматична висівна система працює наступним чином. При русі сівалки по полю, пневматичні імпульси від блоку управління *1* надходять до підсилювача *3*, а потім – до виконуючого механізму *2*, який приводить в дію висівний елемент *6*, розташований в висівної камері *5*. Посівний матеріал під впливом висівного елемента *6* з бункера *4* надходить до висівної камери *5*, звідки по турбулізатору *7* надходить до насіннєпроводу *8*.



1 – блок управління; *2* – виконуючий механізм; *3* – підсилювач; *4* – бункер; *5* – висівна камера; *6* – висівний елемент; *7* – турбулізатор; *8* – насіннєпровід

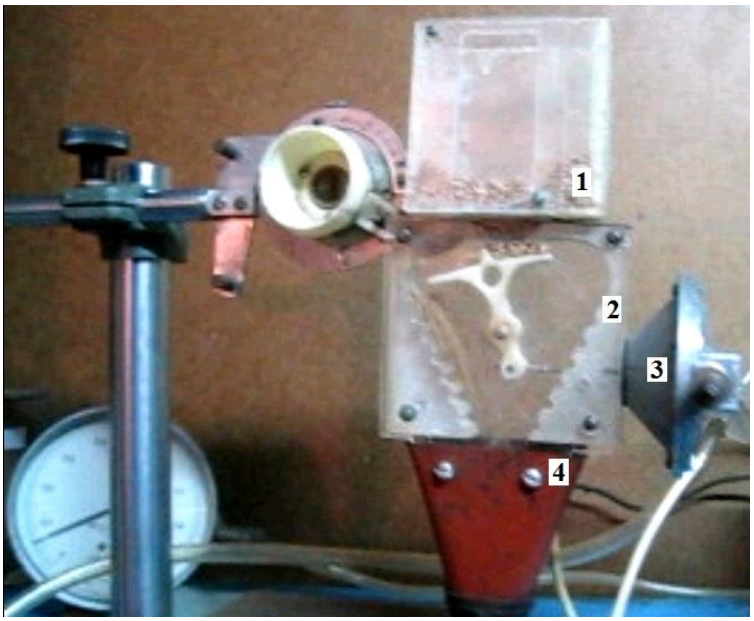
Рисунок 4.10 Схема запропонованого маятникового висівного апарату (*джерело: розроблено в [52], с. 2)*

Турбулізатор *7* призначений для зменшення впливу на рівномірність висіву пульсацій потоку посівного матеріалу, що надходить у насіннєпровід *8*, в результаті дискретної дії висівного елемента *6*.

Надійність і стійкість процесу висіву досягається внаслідок механічного впливу висівного елемента *6* з пневматичним приводом на посівний матеріал в бункері *4*, чим можна запобігти утворення склепінь в ньому.

Таким чином, маятниковий висівний апарат дозволяє зменшити ймовірність утворення склепінь за рахунок активного ворошіння нижніх шарів посівного матеріалу, особливо при висіві мінеральних добрив, а також вологого та несипкого насіння. Крім того, в інших струминних дозаторах силовий елемент розташований близько до насіннєвої камери, що знижує надійність його функціонування внаслідок можливого засмічення при ежектування повітря в паузах між подачею порцій насіння.

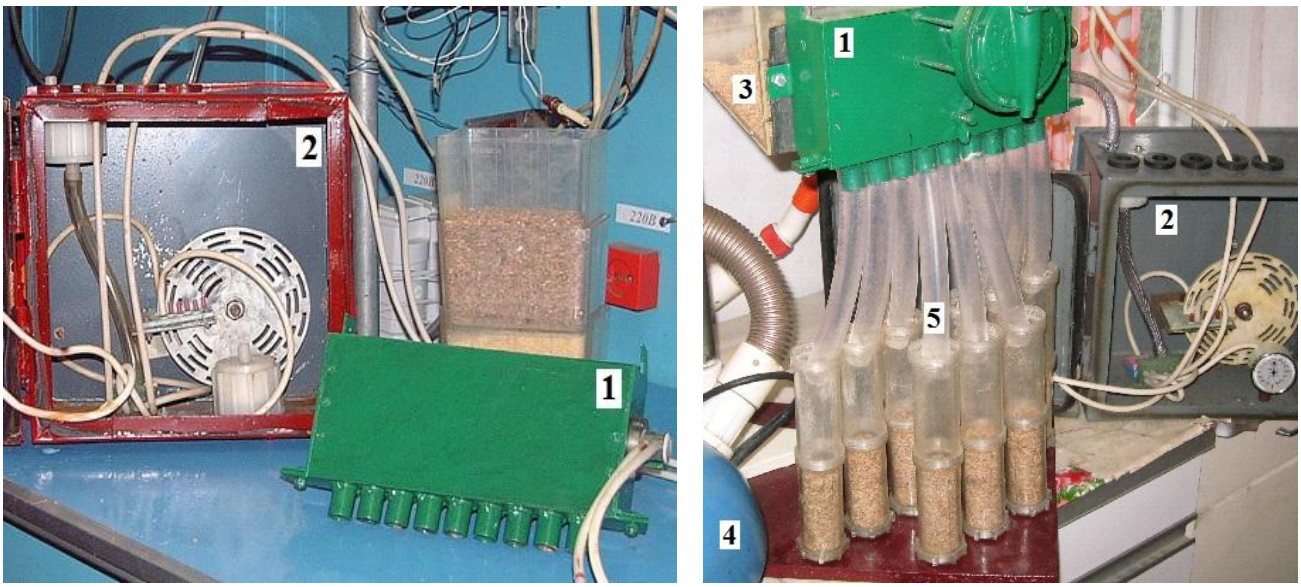
Загальний вигляд маятникового висівного апарата для висіву насіння зернових культур представлений на рис. 4.11.



1 – бункер для насіння; *2* – висівний апарат; *3* – привод; *4* – насіннєпровід

Рисунок 4.11 – Загальний вигляд запропонованого маятникового висівного апарата (*джерело: розроблено автором)*

На рис. 4.12 представлено загальний вигляд струминного висівного апарата з пневматичним підсилювачем.



а *б*

1 – висівний апарат; *2* – блок управління; *3* – бункер;

4 – джерело тиску; *5* – насіннєпроводи

Рисунок 4.12 **–** Запропонований висівний апарат з пневматичним підсилювачем (*а*) та висівна система в зборі (*б*) (*джерело: розроблено в [51], с. 128)*

В апараті на рис. 4.12 повітря від джерела тиску діє на посівний матеріал через проміжний підсилювач *3*, для посилення впливу з метою гарантованого руйнування зв'язків між насінням, подолання сил і напружень, що діють в шарі насіння, з метою підвищення надійності процесу висіву.

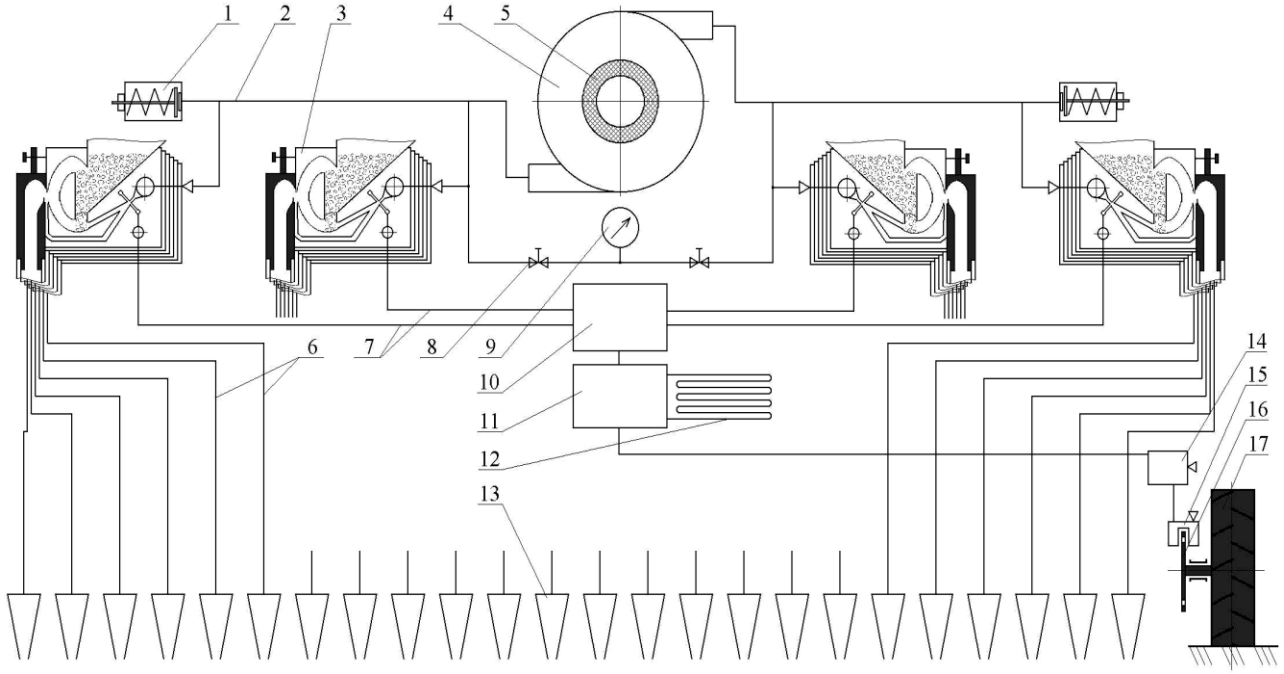
У всіх розглянутих схемах вибрано групове розташування висівних апаратів на посівній машині, що знижує матеріаломісткість та витрати часу на регулювання норми висіву. До того ж має місце гарантоване заповнення висівних апаратів посівним матеріалом з бункера, так як розміри розвантажувального вікна є не настільки обмеженими, як у випадку секційного компонування висівних апаратів на сівалці.

4.2 Розробка схеми висівної системи з елементами пневмоніки для зернової сівалки

Схема струминного висівної системи для посіву зернових культур, в яку входять висівні апарати з елементами пневмоніки, представлена на рис. 4.13.

Висівна система працює наступним чином. Включається джерело надлишкового тиску (вентилятор) *4* і на номінальних обертах двигуна трактора стабілізатором *1* встановлюється робочий тиск в мережі, контролюється манометром *9* і регулюється дроселями *8*. При переміщенні сівалки по полю датчик швидкості *17*, встановлений в закритому корпусі блоку управління висівом, генерує пневматичні сигнали, які надходять на приймальний блок, що складається з елементів *11…16*, де відбувається обробка сигналів. Відформатовані імпульси подаються на підсилювач *10*, звідки по лініях *7* направляються до висівних апаратів *3*. При надходженні імпульсів в апарати відбувається надходження насіння в сошники *13* по насіннєпроводам *6*.

Така схема висівної системи, що включає розглянуті раніше висівні пристрої і пневмоімпульсну систему синхронізації (розділ 1), з урахуванням багатоваріантності схем управління процесом висіву і можливості об'єднання з електронними модулями, є найбільш перспективною [6, 22].



1 – стабілізатор тиску; *2* – силові пневмопроводи; *3* – висівний апарат; *4* – джерело надлишкового тиску; *5* – фільтр; *6* – насіннєпровід; *7* – сигнальні пневмопроводи; *8* – дроселі; *9* – манометр; *10* – підсилювач пневмоімпульсів; *11, 12, 14, 15, 16* – елементи пневмоніки; *13* – сошники; *17* – приводне колесо

Рисунок 4.13 – Схема запропонованої струминної висівної системи зернової сівалки на основі висівних апаратів з елементами пневмоніки (*джерело: розроблено автором)*

4.3 Вирішення питань надійності, обслуговування та виявлення переваг запропонованих висівних систем с елементами пневмоніки

Розглянемо вирішення питань надійності робочого процесу висівних пристроїв з елементами пневмоніки для зернових сівалок.

Завдання забезпечення високої надійності таких висівних систем є специфічними — їх рішення пов'язане з вивченням характеристик робочого процесу струминних та інших проточних елементів і пристроїв в галузі застосування, тобто у взаємозв'язку з посівною технікою.

Узагальнене кількісне значення надійності систем і технічних засобів у більшості випадків важко безпосередньо отримати з первинної інформації. Крім того, вона не дозволяє оцінити вплив різних етапів розробки і експлуатації

системи, тому надійність доцільно розглядати за її головним складовими, які є властивостями системи і можуть характеризуватися як якісно, так і кількісно: безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність, збережуваність.

Щодо безвідмовності роботи представлених висівних систем з елементами пневмоніки це означає, що тут ставиться завдання забезпечення їх роботи протягом часу, не меншого, ніж запланований час роботи технічного засобу [15]. Тобто, висівна система повинна безвідмовно працювати протягом всього часу річного завантаження сівалок, яке дорівнює 160 годин, до чергового обслуговування, з забезпеченням агротехнічних показників рівномірності і стійкості висіву.

Довговічність елементів і пристроїв пневмоніки визначається підбором відповідного матеріалу. Струминні елементи можуть бути виготовлені з металу або кераміки, і в цьому випадку їх довговічність стає практично необмеженою. В даному випадку застосовувалися елементи пневмоніки системи «Волга», виготовлені з пластмаси, що мають встановлені високі показники безвідмовності і довговічності.

Важливим фактором у зниженні собівартості пристроїв з елементами пневмоніки є простота монтажу та експлуатації. Внаслідок цього зводиться до мінімуму роль обслуговуючого персоналу. Для експлуатації пневмоструминних систем потрібні, в основному, механіки невисокої кваліфікації, оскільки простота і наочність роботи елементів пневмоніки дозволяє їм оволодіти необхідними знаннями за короткий час [44]. Логічні елементи пневмоніки стандартизовані й уніфіковані за рівнями живлення, вхідними і вихідними сигналами, навантаженнях та габаритах. Це значно спрощує процес проектування і технологію виготовлення різних технічних засобів, а також полегшує монтаж, налагодження та обслуговування апаратури. В розглянутих системах заміна елементів пневмоніки гранично проста – з монтажної колодки витягується один елемент і вставляється інший, тобто хороша ремонтопридатність.

Щодо фільтрації повітря та усунення забруднень системи передбачена подвійна фільтрація робочого тіла: на вході у вентилятор та на вході в блок

управління (рис. 4.13). Також передбачено створення невеликого надлишкового тиску в корпусі блока управління (рис. 1.18) для усунення надходження пилових частинок в процесі роботи.

З метою підвищення надійності роботи висівних систем, силові елементи висівних апаратів виготовляються з збільшеними прохідними перетинами живлячих і управляючих каналів. Підвищення загальної надійності системи досягається використанням методів резервування і дублювання сигналів блоку управління [4, 7, 8].

Згідно робіт [16, 17, 23, 25], управляючі системи на основі елементів струминної пневмоавтоматики можуть працювати в ускладнених умовах експлуатації при температурах, що значно відрізняються від нормальних, високих прискореннях, інтенсивних вібраційних і ударних навантаженнях. Мають місце і інші переваги висівних систем на основі елементів струминної пневмоавтоматики, а саме:

- низька вартість комплектуючих деталей;
- простота технології виготовлення (лиття, роздруківка на *3D*-принтері);
- мала матеріаломісткість, мініатюрність і швидкодія;
- мінімум рухомих механічних деталей;
- відсутність індивідуальних регулювань при встановленні норм висіву;
- відсутність приводів і коробок зміни передач, точок мащення;
- простота налаштування норми висіву, перебудови на різні схеми посіву;
- відносно мала споживана потужність висівної системою;
- можливість повної автоматизації і контролю робочого процесу.

Крім зазначених переваг висівних систем з елементами пневмоніки, необхідно відзначити можливість більш легкого здійснення автоматизації процесу висіву пропонованими апаратами, в тому числі і в системі точного інформаційного землеробства. Це досягається за рахунок дискретного принципу дії висівних апаратів, що полегшує їх адаптацію до електронних пристроїв, на відміну від аналогового робочого процесу багатьох застосовуваних висівних апаратів і систем.

4.4 Реалізація мехатронного підходу в автоматизації регулювання норми висіву

В результаті аналізу комплексної проблеми напрямків розвитку та ефективності застосування зернових сівалок (розділ 1), а також однієї із складових даної проблеми, що відноситься до автоматизації робочого процесу посівних машин виявлено, що для реалізації диференціювання норм висіву в технологіях СТІЗ необхідні відносно прості по конструкції й універсальні технічні засоби. Подолання виникаючих труднощів можливо на основі мехатронного підходу до дослідження і реалізації технічних засобів автоматизації процесу висіву. Незважаючи на те, що мехатроніка є однією з найбільш молодих областей технічної науки, можна констатувати, що в даний час відбувається мехатронизація техносфери, пов'язана з розвитком виробництва в напрямку все більш широкого впровадження засобів автоматизації на основі мехатронного підходу [43].

Зі стрімким розвитком автоматизації виникає необхідність розробки і подальшого використання мехатронно-інтелектуальних систем. Однак, згідно [14, 41], досі мехатроніка є значною мірою прерогативою фахівців-практиків. Її прогрес в першу чергу обумовлений їх знаннями та вміннями, підкріпленими інженерної інтуїцією. Йде накопичення знань і узагальнення знайдених прикладних рішень. Але потреба в теоретичних засадах, розглянутих у розділі 3, які мають евристичну цінність і дозволяють вести цілеспрямований пошук нових мехатронних рішень, досить велика, в тому числі і для засобів механізації сільськогосподарського виробництва.

Крім розглянутих в розділі 1 недоліків і труднощів, пов'язаних з технічними засобами автоматизації та реалізацією технологій СТІЗ, існує проблема інтерфейсів між пристроями і елементами систем.

При аналізі технічних засобів і рішень для диференційованого висіву в зернових сівалках також виявлено, що численні інтерфейси пов'язують пристрої різної фізичної природи (механічні, електронні та інформаційні), що зумовлює їх

конструктивну і апаратно-програмну складність. При традиційному виконанні засобів автоматизації інтерфейси являють собою самостійні вузли. У машині з комп'ютерним управлінням, яка побудована на традиційних приводах, тільки для зв'язку основних пристроїв необхідно з'єднати кілька десятків сигнальних і силових проводів. Досвід експлуатації засобів і систем автоматизації показує, що до 70% проблем в їх роботі пов'язані з надійністю зв'язків і з'єднань. При цьому мають місце обрив проводів, ненадійний контакт в їх з'єднаннях, що викликає помилкові спрацьовування [19, 41].

Суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і окремих складових будь-якої системи в інтегровані модулі вже на етапах розробки, звільняючи, таким чином, оператора від вирішення "проблеми інтерфейсів" при експлуатації мехатронного пристрою.

Інтегровані мехатронні модулі відрізняються підвищеною надійністю, стійкістю до несприятливих зовнішніх впливів, точністю виконання рухів і компактністю конструкції. Це цілісні вироби, зручні при налаштуванні і програмуванні рухів. Інтегровані рішення, в кінцевому рахунку, економічно вигідні, оскільки спрощується сервіс машини і поліпшується її ремонтопридатність [41, 42].

Крім того, в роботах [18, 34, 47] підкреслюється актуальність мехатронізації СГТ, зокрема виходячи з довговічності, швидкодії і фактично безвідмовної роботи мехатронних модулів і систем. Тому автоматизація робочого процесу і регулювання норми висіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки можуть розглядатися на основі мехатронної реалізації, що відображає загальні тенденції розвитку техніки в XXI столітті – міждисциплінарну інтеграцію, інтелектуалізацію та мініатюризацію. Тут передбачається виконання таких функцій, згідно [20, 28]:

- управління процесом висіву в режимі реального часу, з одночасною обробкою інформації, що надходить з датчиків і сенсорів;
- співорганізації робочого процесу з зовнішніми джерелами впливів;
- взаємодії з людиною за допомогою спеціального інтерфейсу в автономному режимі або в режимі реального часу, online або offline;

- обміну даними між сенсорами, периферійними пристроями та іншими складовими елементами системи.

Це дає можливість вирішити проблему перетворення вхідної інформації, що надходить з верхнього рівня управління, на необхідні управляючі дії на основі принципу зворотного зв'язку.

При цьому мають місце наступні явні переваги мехатронної реалізації в порівнянні з традиційними засобами автоматизації:

- відносно низька вартість розроблених систем, що досягається завдяки значній інтеграції, стандартизації і уніфікації всіх складових інтерфейсів і елементів;
- можливість реалізації точних і складних рухів завдяки методам інтелектуального управління;
- високий рівень надійності, довговічності і захищеності;
- завдяки спрощенню кінематичних ланцюгів, машини мають покращені динамічні та масогабаритні характеристики;
- конструктивна компактність використовуваних модулів дозволяє обходитися меншою площею. Модулі можна також відносно легко поєднувати для досягнення можливості виконання конкретних завдань;
- можливість комплектування окремих функціональних мехатронних модулів в мехатронні системи більш складних рівнів під конкретні завдання.

Разом з тим необхідно визначити структурну та принципову схеми і побудову мехатронного модуля для управління нормою висіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки. Це можна реалізувати у вигляді чотирьох взаємопов'язаних етапів:

- виявлення функцій мехатронних модулів на основі аналізу вихідних вимог, які визначають основні рішення і формуються шляхом аналізу виконуваних технологічних операцій. Це вимоги до посіву зернових культур, вибір необхідних норм висіву і режимів руху сівалки;
- проведення функціонально-структурного аналізу, визначення показників розподілу функціонального навантаження з метою вибору структури мехатронних модулів та формування структурної моделі системи (розділ 2);

- вибору апаратної платформи мехатронних модулів, формування конструктивної моделі системи;
- планування й оптимізації функціональних маніпуляцій, розробки програм дії модулів.

Головною особливістю сучасного етапу розвитку мехатроніки є створення принципово нового покоління модулів – інтелектуальних мехатронних модулів (ІММ). Тому на підставі вищенаведених міркувань і теоретичних досліджень (розділ 2) пропонується структурна схема інтелектуального мехатронного модуля, в якому максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі (рис. 4.14).

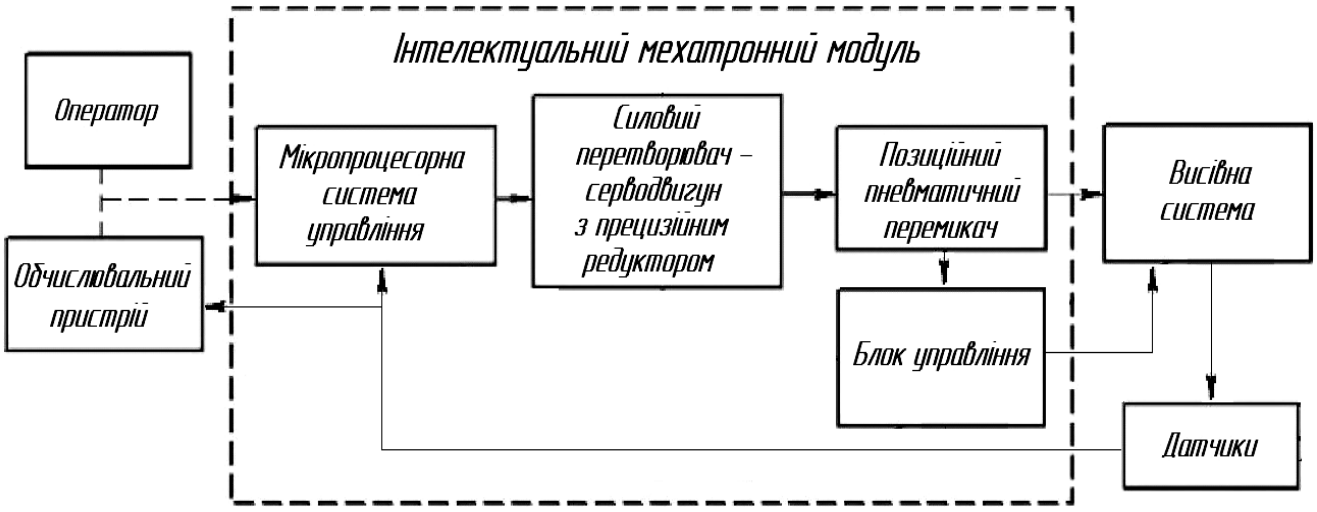


Рисунок 4.14 – Структурна схема інтелектуального мехатронного модуля управління процесом висіву (*джерело: розроблено в [48]*, с. *242)*

У порівнянні з мехатронними модулями руху, в конструкцію ІММ додатково вбудовуються комп'ютерні пристрої і силові електронні перетворювачі, що надає цим модулям інтелектуальні властивості, та є їх головною ознакою, а також дозволяє ІММ виконувати складні рухи самостійно, без звернення до верхнього рівня керування, що покращує розподіл функціонального навантаження, підвищує автономність, гнучкість та живучість мехатронних модулів, які працюють в мінливих і невизначених умовах зовнішнього середовища.

4.5 Розробка програмно-апаратного комплексу регулювання норми висіву висівних апаратів з елементами пневмоніки

4.5.1 Вибір і обґрунтування апаратної платформи мехатронного модуля управління нормою висіву

Структурна схема, представлена на рис. 4.14, є функціональною структурною моделлю мехатронного модуля регулювання норми висіву і відповідає другому етапу вирішення поставленого завдання (п. 4.4). Структура модуля тепер може вважатися відомою. Подальше рішення поставленого завдання полягає у виборі конструктивних рішень, що реалізують заданий структурою набір елементів і зв'язків між ними. Апаратне і конструктивне об'єднання елементів в єдині модулі повинно обов'язково супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення.

Розвиток ІММ обумовлено появою недорогих мікропроцесорів і контролерів на їх базі і спрямований на інтелектуалізацію процесів, що протікають в системі, і в першу чергу – процесів управління функціональними перетвореннями і роботою машин та агрегатів [13]. В даний час існує багато платформ для управління фізичними процесами стосовно мехатронних модулів. Більшість цих пристроїв об'єднують розрізнену інформацію про програмування і укладають її в просту у використанні збірку.

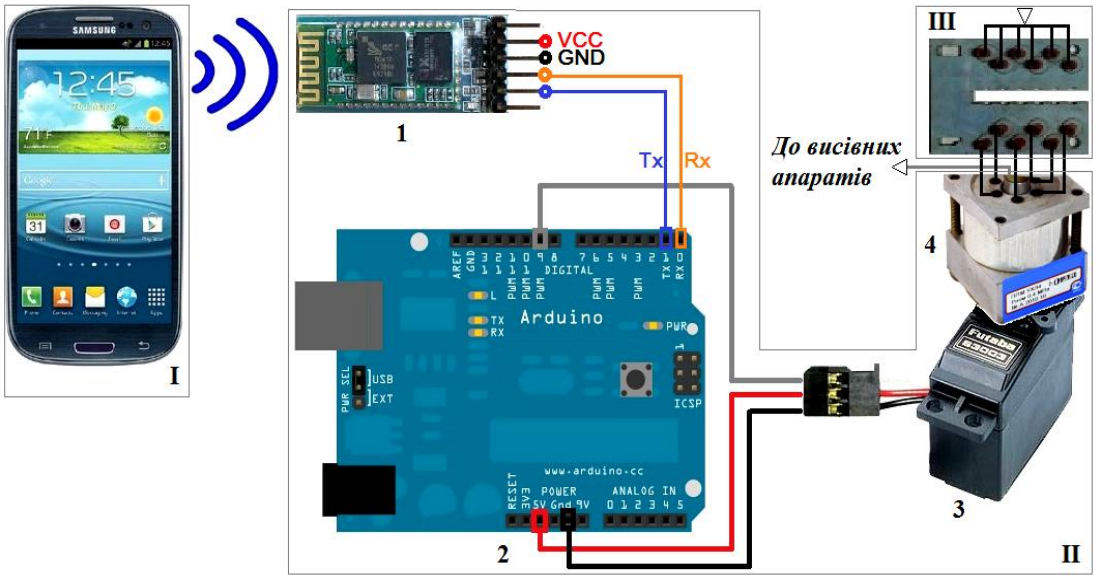
Однак реалізацію апаратної платформи необхідно здійснювати на базі перспективних структурних рішень, що відкриті для розвитку і мають ієрархічну структуру [41].

Arduino – це інструмент для розробки пристроїв, що взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем. Це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами і являє собою плату з мікроконтролером і спеціальним середовищем розробки (IDE) з відкритим програмним кодом для написання програмного забезпечення мікроконтролера. В платформу вбудовані елементи для програмування та інтеграції з іншими схемами.

Тому платформа Arduino стає основним елементом для досліджень і рішення завдань в областях мехатроніки [21]. Arduino спрощує процес роботи з мікроконтролерами, забезпечуючи ряд наступних переваг перед іншими пристроями:

- низька вартість. В порівнянні зі схожими апаратними платформами, плати Arduino мають відносно низьку вартість. Провідні виробники промислової електроніки, такі як Siemens, ABB, OMRON випускають подібні пристрої, проте вартість їх висока;
- кросплатформеність. Програмне забезпечення Arduino працює в операційних системах Windows, Mac OS, Linux і Android, в той час як більшість інших систем орієнтовані на роботу тільки в Windows [54];
- зручне середовище програмування, яке інтуїтивно зрозуміле і просте, але при цьому досить гнучке;
- програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом. Програмне забезпечення Arduino має відкритий вихідний код, завдяки чому користувачі можуть змінювати та доповнювати його. Можливості мови Arduino також можна розширювати за допомогою бібліотек мови *C++*;
- розширювана відкрита архітектура. Пристрої Arduino побудовані на базі мікроконтролерів Atmel ATmega 8 і ATmega 168. Завдяки тому, що всі схеми модулів Arduino опубліковані під ліцензією Creative Commons, розробники можуть створювати свої версії пристроїв на основі існуючих;
- можливість автономної роботи розширює сферу застосування пристроїв, а наявність версій для роботи з популярною мобільною операційною системою Android дозволяє використовувати модулі з Arduino для автоматизації робочих процесів мобільних машин, у тому числі і в сільському господарстві;
- велика кількість додаткових модулів як від розробника, так і від сторонніх виробників, що дає можливість автоматизації і контролю різних фізичних процесів, функцій і систем.

Тому на основі апаратної платформи Arduino розроблено автоматизовану систему регулювання норми висіву (ПАК РНВ) з мехатронним модулем [2, 3, 9, 48], принципову схема якої представлено на рис. 4.15.



I – обчислювальний пристрій; *II* – мехатронний модуль; *III* – блок управління висівною системою; *1* – bluetooth-модуль; *2* – платформа Arduino; *3* – серводвигун; *4* – перемикач пневматичний багатопозиційний; *VCC* – плюс живлення; *GND* – мінус живлення; *Tx*, *Rx* – сигнали управління

Рисунок 4.15 – Програмно-апаратний комплекс регулювання норми висіву у висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки (*джерело: розроблено в [48]*, с. *243)*

Система працює наступним чином. Значення норми висіву, що програмно задається в обчислювальному пристрої *I*, передається на bluetooth-модуль *1* й у вигляді сигналу управління взаємодіє з кодом в пам'яті контролера Arduino *2*, звідки управляюча дія передається на серводвигун *3*, який повертає пневмоперемикач *4* на певний кут і з'єднує відповідні канали слайдера в блоці управління *III* зі струминного схемою управління висівної системою, змінюючи частоту подачі пневмоімпульсів до висівних апаратів.

4.5.2 Розробка програмного забезпечення регулювання норми висіву для апаратної платформи

Розробку програмного забезпечення розглянемо для автономного режиму роботи мехатронного програмно-апаратного комплексу регулювання норми висіву (ПАК РНВ).

Програмне забезпечення складається з двох частин. Перша частина включає в себе код взаємодії платформи Arduino з виконавчим пристроєм (сервоприводом) і обчислювальним пристроєм, що працює на базі операційної системи Android (смартфон або планшет). Друга частина включає в себе код для обчислювального пристрою, який являє собою програму-інтерфейс управління нормою висіву.

Код взаємодії Arduino з сервоприводом і обчислювальним пристроєм створений у середовищі розробки Arduino IDE на мові *C++* (рис. 4.16) і представлений у додатку З.

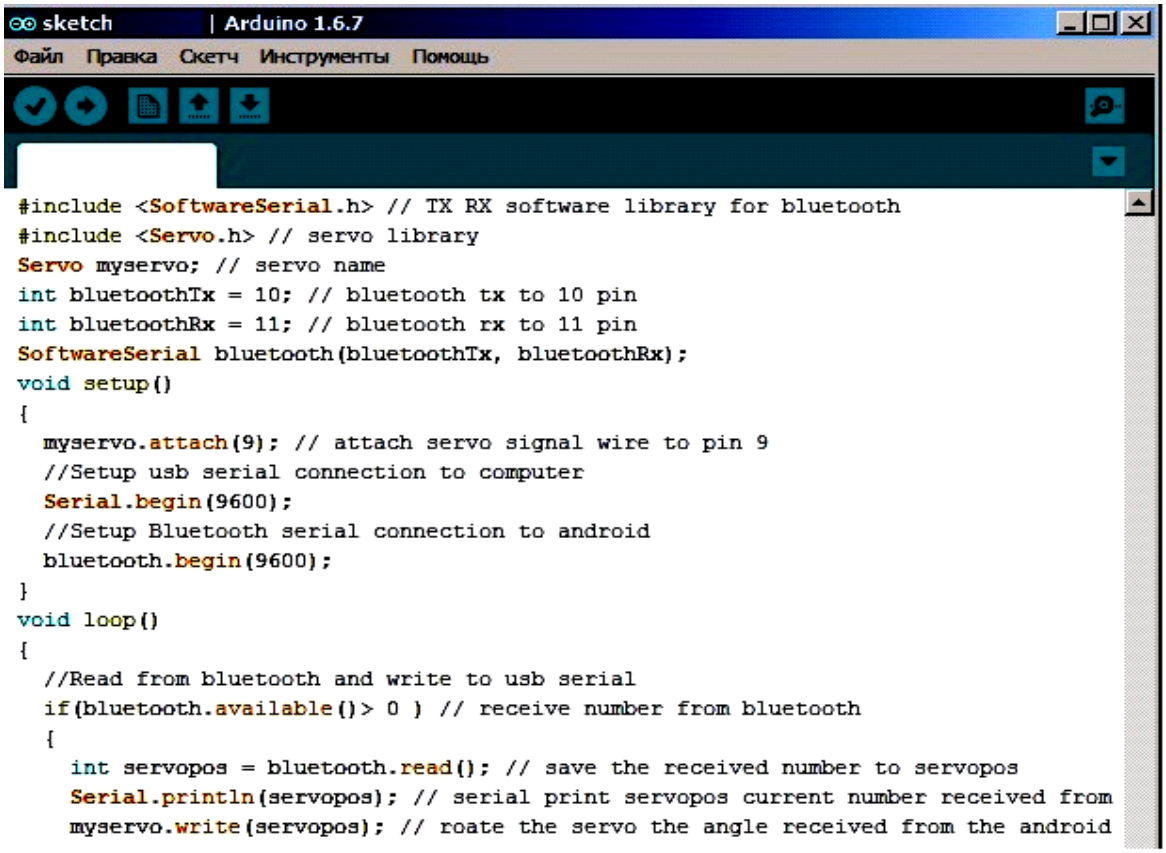


Рисунок 4.16 – Фрагмент коду взаємодії платформи Arduino з сервоприводом і обчислювальним пристроєм (*джерело: розроблено в [48]*, с. *243)*

Після налагодження код завантажується в пам'ять контролера Arduino для подальшого використання в автономному режимі регулювання норми висіву.

Код обчислювального пристрою або інтерфейс оператора для управління нормою висіву створюється в середовищі програмування MIT_app.inventor (рис.4.17). Структура коду інтерфейсу оператора представлена в додатку К.

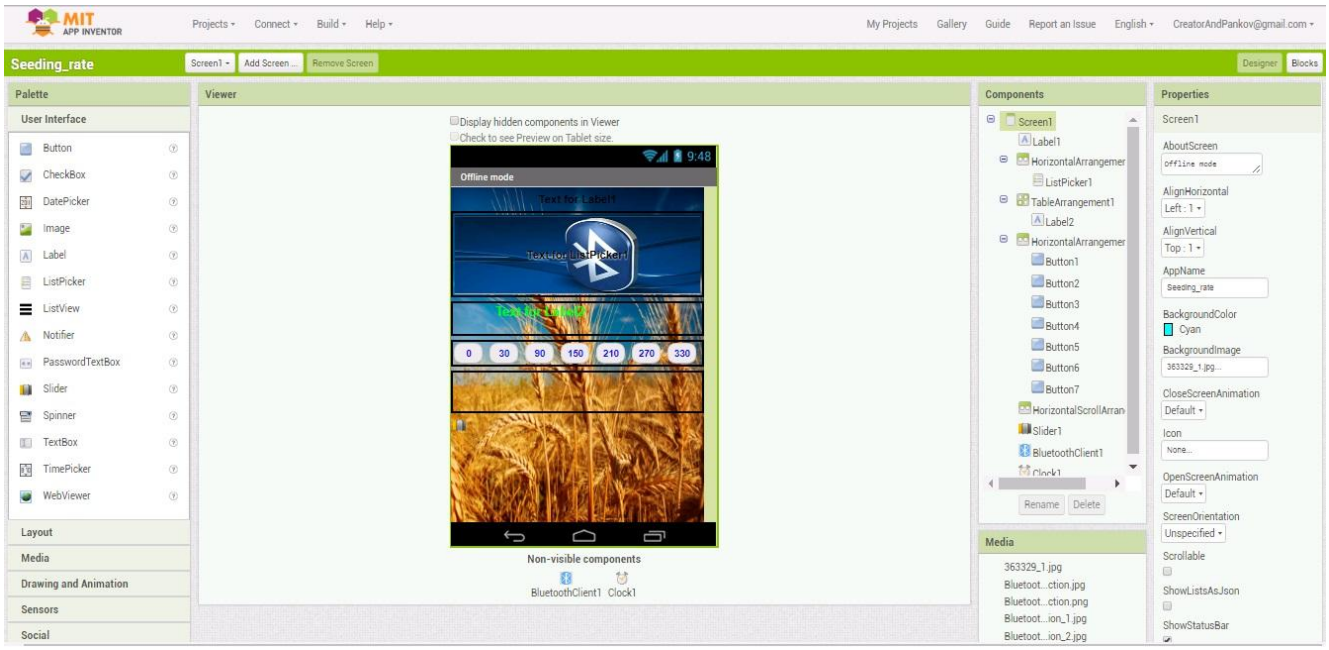
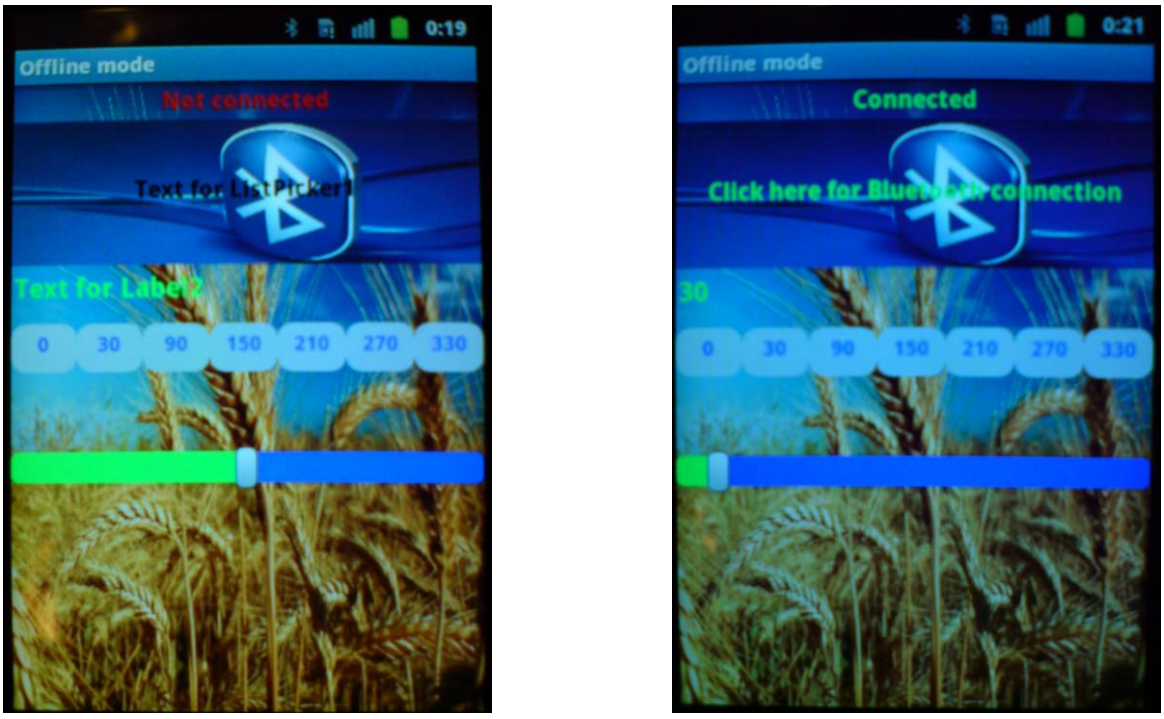


Рисунок 4.17 – Розробка програми-інтерфейсу для управління висівом (*джерело: розроблено в [48]*, с. *244)*

Після налагодження програма завантажується і встановлюється на мобільний пристрій під управлінням операційної системи Android (рис. 4.18).



а *б*

Рисунок 4.18 – Програма для регулювання норми висіву в обчислювальному пристрої: роз'єднаному з мехатронним модулем (*а*); поєднаному з мехатронним модулем (*б*) (*джерело: розроблено автором)*

Програма являє собою структуру взаємодії блоку управління висівною системою з елементами управління і індикації, які програмно задані перемикачем в обчислювальному пристрої, на кнопках якого задані значення кута повороту пневмоперемикача мехатронного модуля (від 30^0 до 330^0 з нейтральним положенням при 0^0), рис. 4.15. Кількість положень перемикача в обчислювальному пристрої дорівнює кількості прорізів перфорованого диска блоку управління висівної системою з елементами пневмоніки в радіальному напрямку, тобто шести (рис. 1.21). В якості управління нормою висіву використовується, як вже сказано вище, поворот пневмоперемикача, що змінює частоту генерованих пневмоімпульсів [24].

4.6 Концепція автоматизації зернових сівалок на основі розподіленої системи управління мехатронними модулями

Для створення розподіленої системи управління достатньо пов'язати мехатронні модулі з центральним пристроєм управління через локальну мережу, в результаті чого виходить децентралізована розподілена система управління, типова архітектура якої, згідно з [41], представлена на рис. 4.19.

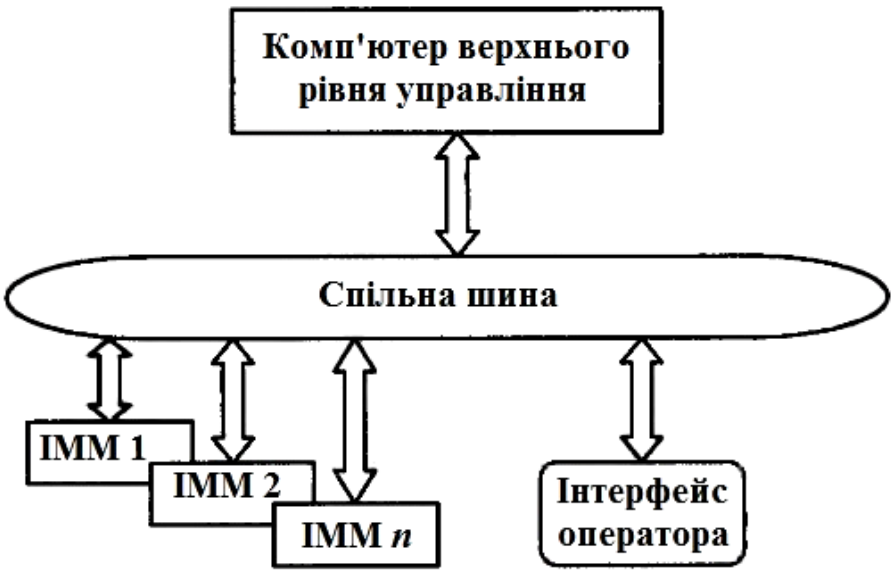


Рисунок 4.19 – Типова архітектура розподіленої системи управління

(*джерело: розроблено в [41], с. 151)*

Тому в даний час, у зв'язку зі значним прогресом апаратно-програмного забезпечення та рішенням розглянутої вище проблеми інтерфейсів, побудова архітектури систем автоматизації для посівних машин та інших засобів механізації можлива на основі комплектування окремих функціональних мехатронних модулів в мехатронні системи більш складних рівнів під конкретні завдання, на основі розподіленої системи управління.

При цьому відстань між комп'ютером верхнього рівня управління та контролерами інтелектуальних мехатронних модулів може бути значним. Обмін інформацією і керуючими командами між цими пристроями здійснюється через бездротову комп'ютерну мережу.

Застосування розподілених систем дозволяє ефективно вирішити ряд проблем управління, що характерно для мехатроніки. До числа основних переваг систем даного типу слід віднести:

- відкритість архітектури, що дає системі управління високу гнучкість, можливість оперативно формувати закони управління у відповідності з вимогами технологічного процесу, швидко конфігурувати і розширювати систему управління для вирішення нових функціональних завдань;
- можливість діагностики роботи під час виконання операцій.

Щодо зернових сівалок архітектура розподіленої системи контролю і управління робочим процесом представлена на рис. 4.20.

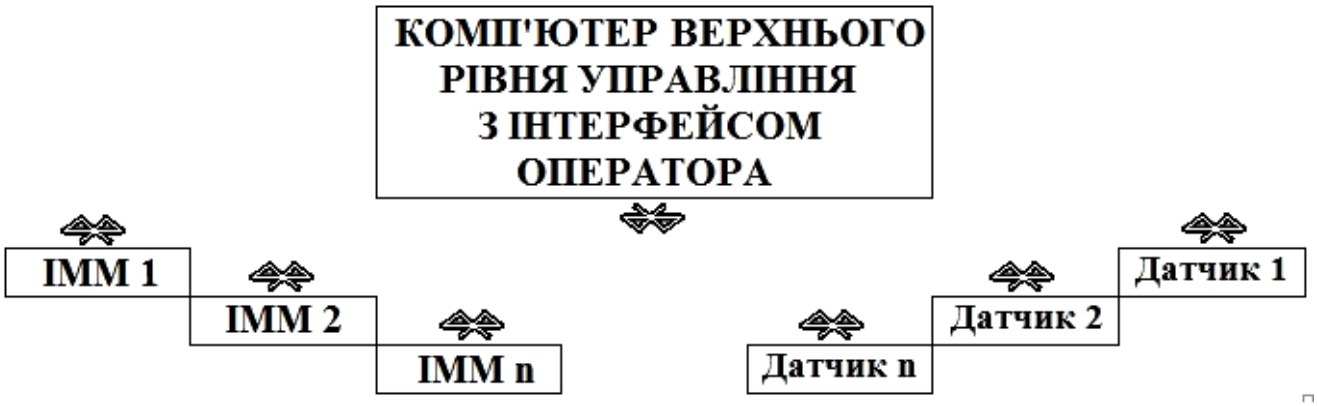


Рисунок 4.20 – Архітектура розподіленої системи контролю і управління робочим процесом зернової сівалки (*джерело: розроблено автором)*

Апаратне забезпечення архітектури розподіленої системи контролю і управління роботою зернової сівалки схематично представлено на рис. 4.21.



1 – датчик наявності насіння в зерновому бункері; *2* – датчик інтенсивності потоку насіння; *3* – датчик контролю забивання сошників; *4* – датчик пройденого шляху; *5* – ІММ стабілізації ходу сошників і довантаження ходової частини трактора; *6* – ІММ регулювання норми висіву насіння; *7* – ІММ регулювання частоти обертання вентилятора; *8* – ІММ підняття і опускання маркерів

Рисунок 4.21 – Схема розподіленої системи контролю та керування процесом роботи зернової сівалки (*джерело: розроблено автором)*

Крім датчиків *1…4* на рис. 4.21, в розподілену систему контролю і управління вбудовані інтелектуальні мехатронні модулі *5…8*, об'єднані разом з датчиками в бездротову локальну комп'ютерну мережу на основі передавачів bluetooth або wi-fi. На відміну від пасивних датчиків *1…4*, ІММ не тільки здійснюють контроль показників у певній операції, але є активними пристроями, що здійснюють автоматичне регулювання заданих параметрів і технологічних впливів. Так, наприклад, ІММ *8* здійснює автоматичне підняття і опускання маркерів при розворотах посівного МТА в кінці гону.

Висновки по четвертому розділу

1. Виявлено, що нові можливості для створення надійних, простих в обслуговуванні і недорогих пристроїв для механізації процесу висіву зернових

культур з'явилися з створенням елементної бази пневмоніки. Показано, що пневмоелементи не тільки більш надійні електронних, але і набагато дешевші. Пневмоніка вже займає монопольне становище в таких областях техніки, де використання електроніки неможливо або важко. Тому в роботі досліджено можливості і перспективи застосування пневмоструминних елементів та пристроїв у висівних апаратах і системах зернових сівалок.

2. Показано, що для автоматизації робочого процесу зернових сівалок та реалізації технологій СТІЗ необхідні відносно прості по конструкції й універсальні технічні засоби. Обґрунтовано, що подолання виникаючих труднощів можливе на основі мехатронного підходу до дослідження і реалізації технічних засобів автоматизації та диференційованого висіву. Виявлено, що сутність мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і окремих складових будь-якої системи в інтегровані модулі вже на етапах розробки, звільняючи, таким чином, оператора від вирішення "проблеми інтерфейсів" в процесі експлуатації.

3. Обґрунтовано, що реалізацію програмно-апаратної платформи регулювання норми висіву при мехатронному підході необхідно здійснювати на базі структурних рішень, що відкриті для розвитку і мають ієрархічну структуру, зокрема на базі платформи Arduino.

4. Встановлено, що в даний час, у зв'язку зі значним прогресом апаратно-програмного забезпечення побудова архітектури систем автоматизації для посівних машин та інших засобів механізації можлива на основі комплектування окремих функціональних мехатронних модулів в мехатронні системи більш складних рівнів під конкретні завдання на основі розподіленої системи управління.

5. Розроблено висівні апарати і системи, що працюють із застосуванням елементів і пристроїв пневмоніки, дозволяють усунути існуючі недоліки автоматизації робочого процесу зернових сівалок та адаптації технічних засобів посіву для роботи в умовах СТІЗ, а трудові та вартісні витрати на автоматизацію та адаптацію зернових сівалок до технології СТІЗ на пневмоніко-мехатронній основі значно менші, ніж у інших відомих варіантах.

РОЗДІЛ 5
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВИСІВНИХ СИСТЕМ

5.1 Результати визначення початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби

За результатами випробувань ґрунту на трибометрі визначено нормальні і дотичні напруження у посівному шарі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Значення напружень у посівному шарі ґрунту

Номер експерименту	1	2	3	4
Нормальні напруження σ, Па	347	544	672	802
Дотичні напруження τ, Па	345	491	751	998

За результатами експериментальних досліджень побудована залежність граничних дотичних напружень τ від нормальних тисків σ (рис. 5.1), що характеризує величину початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби.

Апроксимацією експериментальних даних встановлено, що найбільш оптимальною залежністю зміни дотичних напружень τ від нормальних тисків σ є рівняння квадратичної регресії:

$$\tau = 0{,}00194\sigma^2 - 10{,}574\sigma + 2085{,}7221. \quad (5.1)$$

Похибка апроксимації ΔA = 2,8%, фактичний критерій Фішера F_Φ = 199, табличний (критичний) F_T = 85. Оскільки $F_\Phi > F_T$, це свідчить про статистичну надійність регресії.

Таким чином, початковий опір зсуву ґрунту, підготовленої під посів, становить $\tau_0 \approx 334$ *Па*.

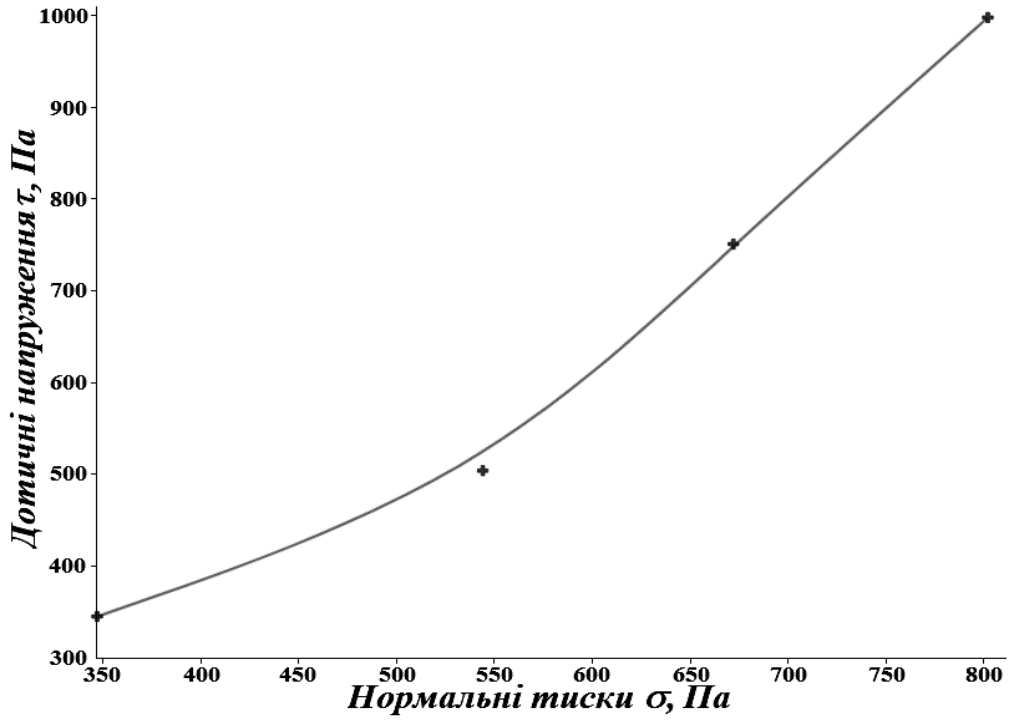


Рисунок 5.1 – Залежність граничних дотичних напружень ґрунту, підготовленого до сівби, від нормальних тисків (*джерело: розроблено автором*)

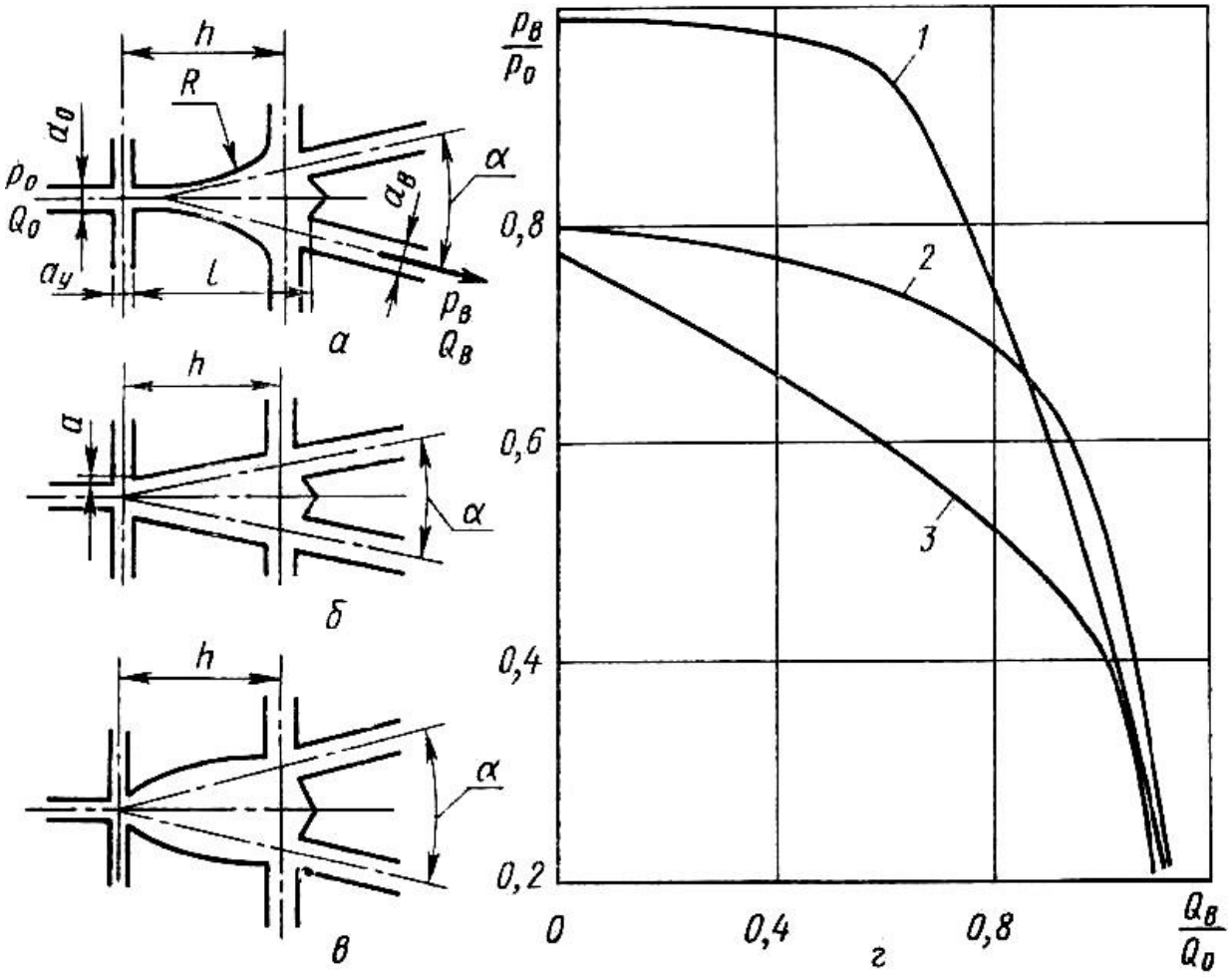
5.2 Обґрунтування вибору геометричних характеристик силового струминного елемента

При дослідженнях і розробці струминних елементів, робота яких заснована на використанні явища відриву потоку від стінки, істотним є правильний вибір форми стінки, з якою взаємодіє потік (рис. 5.2), згідно з [1].

Встановлено, що найкращу вихідну характеристику відриву потоку від стінки (крива 1 на рис. 5.2, *г*), при рівних інших умовах, має елемент з опуклою стінкою, найгіршу характеристику — елемент з увігнутою стінкою (рис. 5.2, *г*, крива 3). Елемент з прямолінійною стінкою має задовільну характеристику (рис. 5.2, *г*, крива 2). Таким чином, елемент з опуклою стінкою забезпечує найбільший тиск в приймальному каналі і найменше падіння тиску на початковій ділянці вихідної характеристики.

Радіус кривизни стінки зазвичай приймають рівним $R = (18...20)a_0$ і вибирають з умови, щоб внутрішня гранична лінія струму збігалася з межою стінки. Однак невеликі технологічні відхилення у кривизні опуклої стінки

можуть порушувати характер перемикання елемента, що підвищує вимоги щодо технології його виготовлення. Тому найбільше розповсюдження отримали струминні елементи з прямолінійною стінкою.



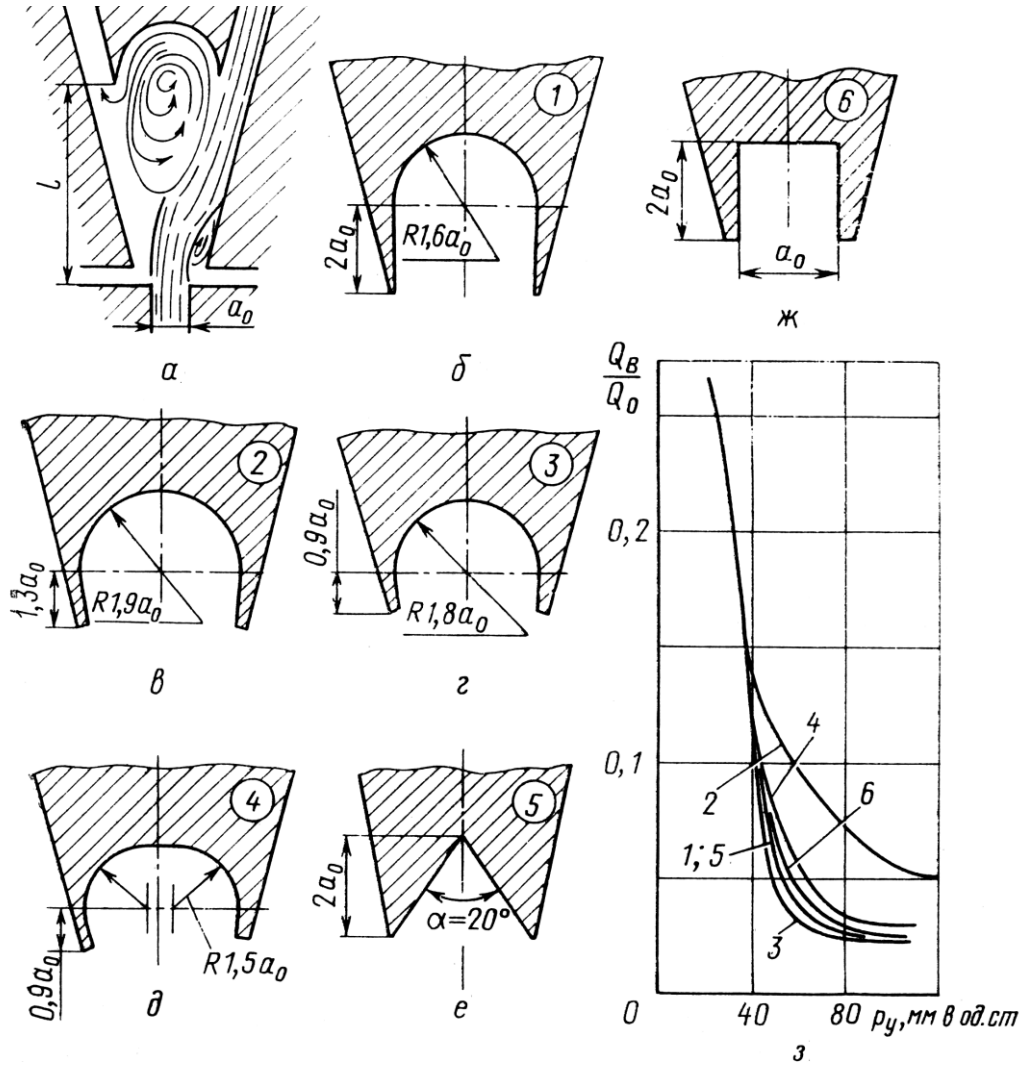
а – елемент з опуклою стінкою; *б* – з плоскою стінкою; *в* – з увігнутою стінкою

Рисунок 5.2 – Вплив форми стінки на характеристики струминного елемента; порівняльні характеристики (*г*) випадків *а, б, в,* відображених відповідно кривими *1, 2, 3* (*джерело: розроблено в [1], с. 137*)

Дослідження показали, що для забезпечення задовільних характеристик можна прийняти наступні співвідношення лінійних розмірів, віднесені до ширини каналу живлення a_0:

$$a/a_0 = 1{,}2;\ a_y/a_0 = 0{,}5...0{,}6;\ l/a_0 = 10...11;\ h/a_0 = 8;\ \alpha = 22...24°;\ a_в/a_0 = 1{,}5. \quad (5.2)$$

Проведені дослідження впливу форми розсікача на характеристики струминного елемента. Виявлено, що форма розсікача впливає на характеристику перемикання, і головним чином, на її крутизну. Різна конфігурація розсікачів наведена на рис. 5.3.



а – схема утворення вихору у розсікачі; *б, в, г, д, е, ж* – різні форми розсікачів; *з* – порівняльні характеристики перемикання: криві *1…6* відповідають різним формам розсікачів *б...ж* відповідно

Рисунок 5.3 – Вплив форми розсікача на характеристики перемикання (*джерело: розроблено в [1], с. 139*)

У розсікачі, що має увігнуту форму, утворюється вихор і невеликий зворотний потік (рис. 5.3, *а*). Вихор розділяє потік, що прямує в один з вихідних каналів, і запобігає його проникненню в інший канал. Найкращою формою розсікача

вважається така, яка забезпечує найбільшу крутизну характеристики і найменший залишковий тиск. Гострокутні розсікачі (рис. 5.3, *е*) застосовують головним чином в аналогових струминних елементах. Найкращими можна вважати форми розсікачів, показані на рис. 5.3, *б*, *е*, *ж*. Порівняльні статичні характеристики, отримані для розсікачів різної форми, представлені на рис. 5.3, *з*. Зауважимо, що номери кривих на рис.5.3, *з* відповідають номерам, зазначеним на рис. 5.3, *б*...*ж*. Виявлено, що елемент з розсікачем на рис.5.3, *в*, має найгірші характеристики. На основі даних досліджень, у табл. 5.2 представлені оптимальні значення геометричних характеристик і параметрів силового струминного елемента.

Таблиця 5.2 – Геометричні характеристики силового струминного елемента

Параметр	a_0, мм	a, мм	a_y, мм	l, мм	h, мм	α, град.	a_B, мм
Значення	2,0	2,4	1,2	6,0	5,0	24,0	3,0

Загальний вид силового струминного елемента з геометричними розмірами, що відповідають представленим у табл. 5.2, а також рекомендаціям по конфігурації розсікача, згідно рис. 5.3, показаний на рис. 5.4.



Рисунок 5.4 – Зразок силового струминного елемента
для моделювання робочого процесу в програмному середовищі Ansys Fluent
(*джерело: розроблено автором*)

5.3 Результати імітаційного моделювання функціонування силового струминного елемента в програмному середовищі Ansys Fluent

5.3.1 Імітаційне моделювання газодинамічних процесів, що відбуваються протягом повного циклу перемикання струминного елемента

В отриманій при імітаційному моделюванні картині газодинамічних процесів протягом повного циклу перемикання елемента були виділені основні етапи перемикання силового струменя і розповсюдження хвиль тиску.

На рис. 5.5 представлений процес встановлення струменя в робочій камері елемента після подачі тиску живлення. По обидві сторони струменя йде процес утворення вихорів, які формуються випадковим чином. Зазначимо, що робоче середовище частково ежектується із каналів управління. Первинний потік струменя живлення скидається в атмосферні вікна і частково надходить у вихідні канали. Випадковим чином, виходячи з миттєвих опорів вихідних і атмосферних каналів, повітряний струмінь живлення встановлюється вздовж лівої стінки робочої камери. На зображенні (рис. 5.5), отриманому в середовищі Ansys Fluent можна бачити ядро струменя і його основний напрям.

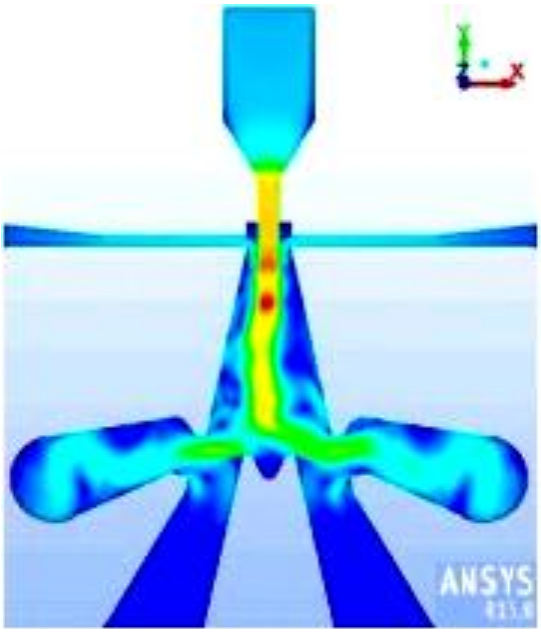


Рисунок 5.5 – Фрагмент моделювання процесу встановлення струменя в робочій камері струминного елемента після подачі живлення в програмному середовищі Ansys Fluent (*джерело: розроблено автором*)

На рис. 5.6 показано, як відбувається підвищення тиску в лівому вихідному каналі.

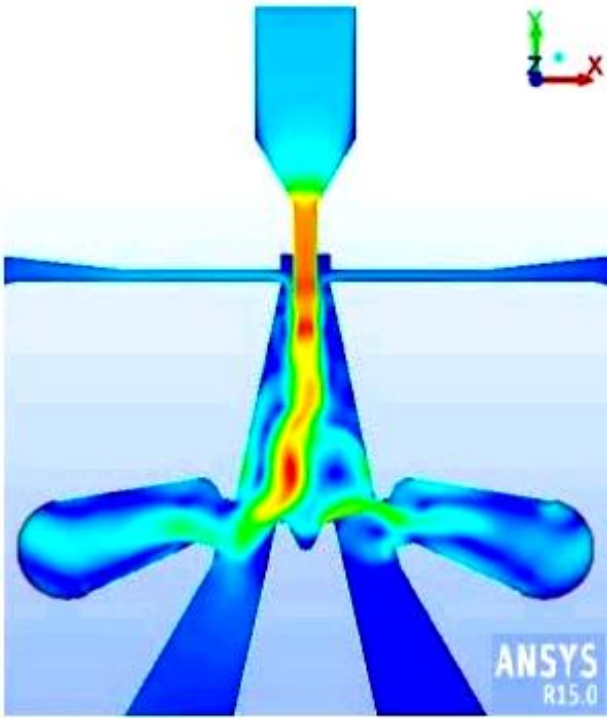


Рисунок 5.6 – Фрагмент виявленого підвищення тиску в лівому вихідному каналі силового струминного елемента на моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

Виявлена поява тиску управління в лівому керуючому каналі. Струмінь при цьому починає відхилятися вправо. Спостерігається надходження робочого середовища від силового струменя в правий канал управління і поширення хвилі тиску з нього назустріч потоку робочого середовища, який формується у верхньому вихідному каналі. Нестабільну поведінка силового струменя можна пояснити ще несталим плином робочого середовища в камері елемента.

На моделі процесу (рис.5.7) виявлено, що вже майже відхилений вправо струмінь скидається в ліве атмосферне вікно і поки не може подолати вихор відбитого потоку, що формується праворуч від нього. Зауважимо, що коли в правий вихідний канал починається викид пульсацій тиску і витрати, які формує пульсуюче робоче середовище відбитого потоку, то вони можуть бути джерелом помилкових спрацьовувань струминного елемента. Цей процес добре помітний на рис.5.8 («петля» у верхньому вихідному каналі).

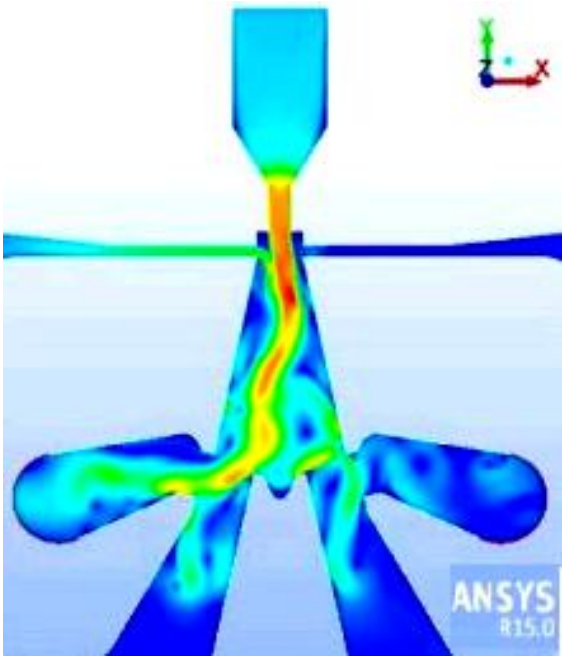


Рисунок 5.7 – Момент скидання струменя в ліве атмосферне вікно силового струминного елемента на фрагменті моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

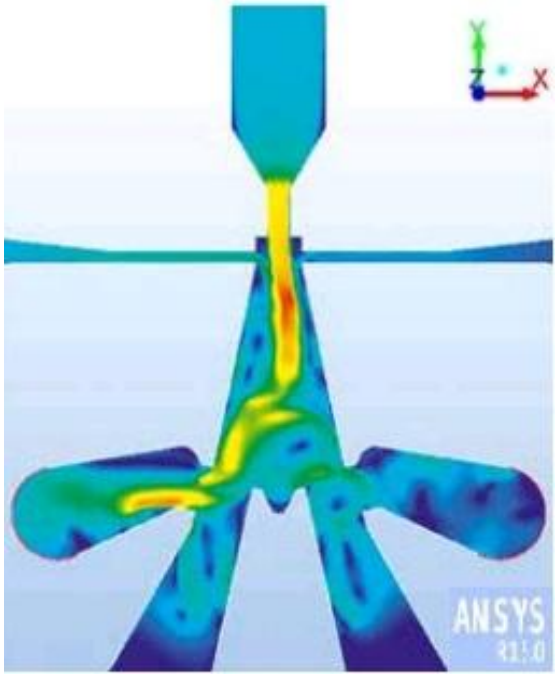


Рисунок 5.8 – Фіксування моментів «паразитних» викидів пульсацій тиску і витрати в правий вихідний канал силового струминного елемента на фрагменті моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

На фрагменті моделі процесу (рис. 5.9) видно, як струмінь знову встановлюється «середнє» положення, відхилившись від лівої стінки.

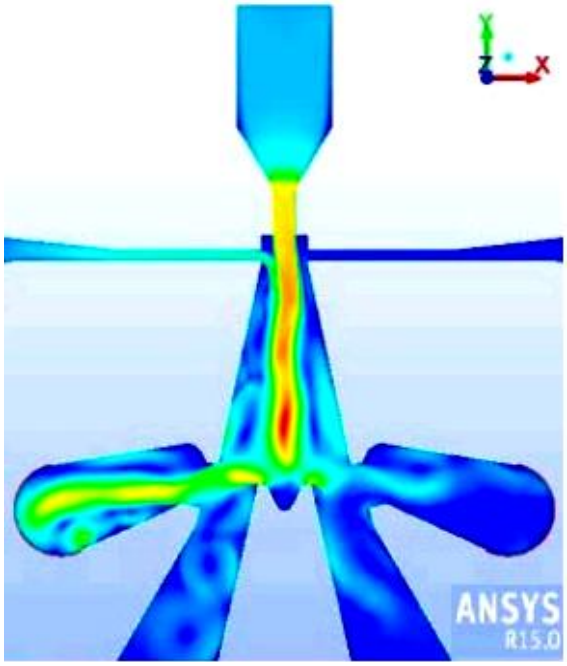


Рисунок 5.9 – Фрагмент установлення струменя в середньому положенні в силовому струминному елементі на моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

Виявлено, що основний потік скидається в лівий атмосферне канал, а по обидві сторони струменя формуються відображені потоки. В обох вихідних каналах формуються пульсації тиску. В розглянутий момент у верхньому вихідному каналі вони більше, що і визначає надходження керуючого тиску і витрати в лівий канал управління і переміщення силового струменя до правої стінки.

Визначено, що потужність нового відбитого потоку, який формується зліва від силового струменя, порівняна з потужністю силового струменя. Миттєвий потік, відбившись від лівої стінки робочої камери, направляється спочатку проти силового струменя, притискаючи його до правої стінки, а потім розриває його. Тільки подальше переміщення силового струменя до правої стінки робочої камери послаблює відбитий потік, і він починає ежектуватися силовим струменем.

Силовий струмінь відновлює свою цілісність. Пульсації тиску в лівому вихідному каналі призводять до пульсацій тиску в лівому управляючому каналі, що також викликає нестабільність положення силового струменя і дає початкові пульсації тиску в правий вихідний канал. Під впливом тиску в лівому управляючому каналі струмінь остаточно переходить до правої стінки струминного елемента (рис. 5.10).

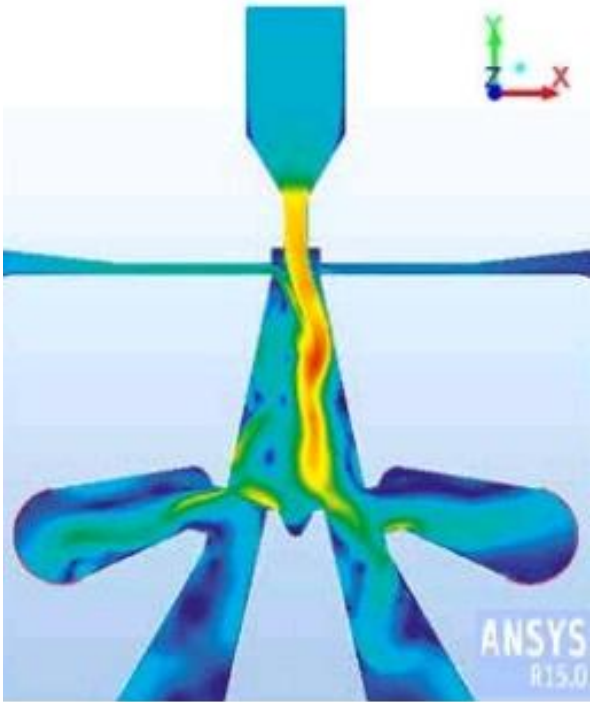


Рисунок 5.10 – Фрагмент перемикання струменя до правої стінки силового струминного елемента на моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

Після цього потік робочого середовища в правому вихідному каналі починає перемикати силовий струмінь знову до лівої стінки робочого елемента, і при цьому формується правий відбитий потік (рис. 5.11).

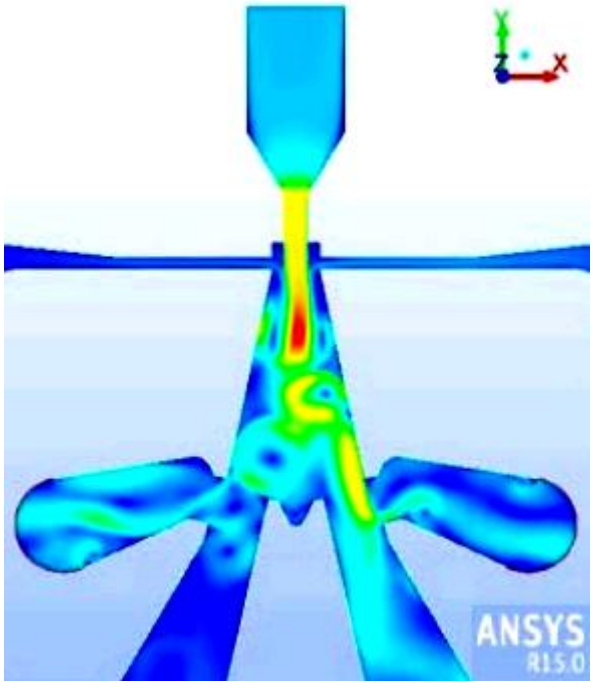


Рисунок 5.11 – Фрагмент початку зворотного перемикання струменя до лівої стінки силового струминного елемента на моделі процесу (*джерело: розроблено автором*)

В процесі його формування видно розрив силового струменя, що відхилився від правої стінки. Таким чином, за результатами досліджень виявлено виникнення пульсацій тиску в правому вихідному каналі. Визначено, що одночасно починає надходити витрата у лівий канал управління, в той час як ядро струменя відхиляється вліво.

Процес перемикання починає повторюватися. Крім цього, зафіксовано розрив силового струменя і виникнення «паразитних» пульсацій тиску, що є ще одним джерелом помилкових спрацьовувань.

5.3.2 Аналіз результатів імітаційного моделювання функціонування силових струминних елементів

Аналізуючи цикл перемикання струменя, спостережуваний в ході моделювання процесів перемикання силових струминних елементів, можна відзначити, що:

- моделювання процесів перемикання струменя в силових струминних елементах отримано вперше. Отримана картина перемикання струменя відрізняється від загальноприйнятої [3], що існувала раніше. Зазначимо, що раніше, при дослідженні і розробці силових струминних елементів приймалася модель перемикання, заснована на непрямих результатах експериментальних досліджень, що не давало повної картини процесу перемикання і характеру виникнення пульсацій тиску, які особливо викликають помилкові спрацьовування струминних елементів;
- в режимі підвищених частот, перемикання силового струменя відбувається не під впливом встановленої витрати у вихідних каналах, як це зазвичай було прийнято вважати, а під впливом викидів витрати і тиску, що виникають у вихідних каналах елемента в процесі перемикання струменя;
- процес перемикання силового струменя в робочій камері елемента може мати і акустичну природу, оскільки переміщення силового струменя по кромках елемента, атмосферних і вихідних каналах з високою швидкістю викликає появу

акустичних хвиль. Зауважимо, що із збільшенням частоти перемикань, частота цього акустичного шуму також збільшується, що обумовлює необхідність дослідження впливу акустичних хвиль на роботу силового струминного елемента;

- отримана картина течій свідчить про те, що потрібна подальша оптимізація параметрів силових струминних елементів. Це дозволить значно збільшити їх продуктивність і поліпшити характеристики. Найбільш очевидним параметром, який необхідно оптимізувати, є довжина робочої камери. На всіх представлених фрагментах зображень видно, що силовий струмінь встигає розширитися по досліджуваній робочій камері, що по суті є паразитним ефектом у роботі силового струминного елемента. Виявлено, що з точки зору поліпшення характеристик швидкодії, необхідно перемикати тільки ядро струменя, а не розвинений розширений струмінь, який має ежекційні турбулентні складові.

На підставі результатів моделювання, геометричні характеристики для силових струминних елементів з прямолінійною стінкою визначаються наступними співвідношеннями лінійних розмірів, віднесених до ширини живлячого каналу a_0:

$$a/a_0 = 1{,}3\ldots1{,}4;\ a_y/a_0 = 0{,}5\ldots1{,}0;\ l/a_0 = 5{,}0;\ h/a_0 = 5{,}0;\ \alpha = 22\ldots24°;\ a_B/a_0 = 2{,}0. \quad (5.3)$$

Визначено, що фасонний розсікач в силових струминних елементах не потрібен, оскільки він не впливає на якість їх роботи та спрощує виготовлення струминних елементів.

Загальний вигляд розробленого на основі моделювання та рекомендацій силового струминного елемента для висівних апаратів і систем показаний на рис.5.12, а співвідношення лінійних розмірів, що визначають його геометричні характеристики, представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Геометричні характеристики силового струминного елемента

Параметр	a_0, мм	a, мм	a_y, мм	l, мм	h, мм	α, град.	a_B, мм
Значення	2,0	2,6	2,0	10,0	10,0	24,0	4,0

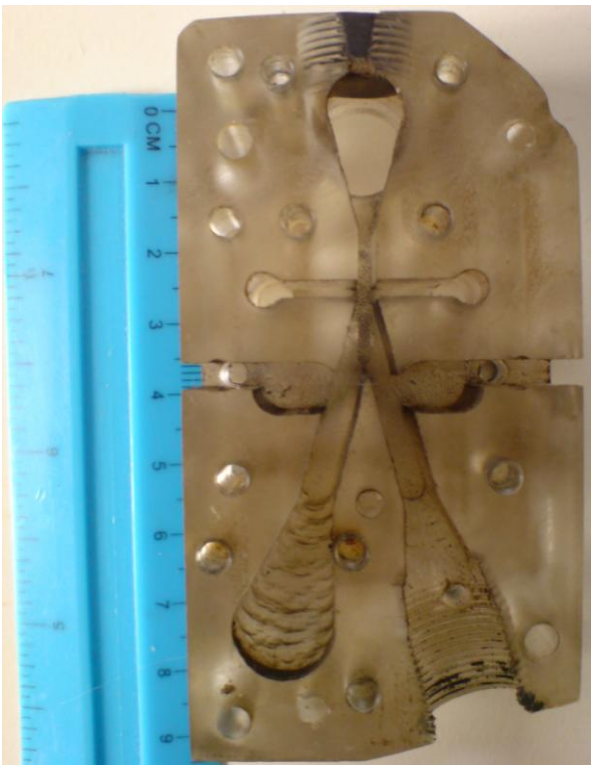


Рисунок 5.12 – Силовий струминний елемент, виготовлений на основі моделювання робочого процесу і проточних частин в програмному середовищі Ansys Fluent (*джерело: розроблено автором*)

5.4 Результати стендових випробувань силового струминного елемента

Результати стендових випробувань оптимізованого силового струминного елемента представлені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Залежність витрати повітря від тиску, при площі поперечного перерізу сопла живлення силового струминного елемента $S = 34мм^2$

Тиск живлення $P_{ж}$, кПа	Витрата повітря $Q \cdot 10^{-4}$, м^3/с	Питома витрата повітря на 1мм^2 $Q_{пит} \cdot 10^{-4}$, м^3/с
1	2	3
1	7,350	0,0216
2	10,25	0,0301
3	13,20	0,0388

Продовження таблиці 5.4

1	2	3
4	15,80	0,0478
5	18,10	0,0532
6	20,00	0,0588
7	21,75	0,0640
8	23,50	0,0691
9	25,15	0,0740
10	26,70	0,0785
11	28,25	0,0830
12	29,65	0,0872
13	31,05	0,0913
14	32,40	0,0953
15	33,70	0,0910

Апроксимацією даних табл. 5.4 встановлено, що найбільш оптимальною залежністю зміни витрати живлячого повітря від величини тиску живлення є рівняння степеневої регресії:

$$Q = a \cdot P_{ж}^{n},\ м^3 / с. \tag{5.4}$$

де a – коефіцієнт рівняння степеневої регресії;

n – показник ступеня рівняння регресії.

У даному випадку рівняння (5.4) має вигляд:

$$Q = 0{,}0007 \cdot P_{ж}^{0{,}5712},\ м^3 / с.$$

Похибка апроксимації $\Delta A = 0{,}82$, фактичний критерій Фішера $F_Ф = 27370{,}5$, табличний (критичний) $F_T = 4{,}67$. Оскільки $F_Ф >> F_T$, то це свідчить, що регресія статистично надійна.

Виходячи з даних табл. 5.4, можна визначити споживану потужність силового струминного елемента висівного апарату:

$$N_{сп} = P_{ж} \cdot Q, Вт. \quad (5.5)$$

Отримані дані для різних значень тиску живлення силового струминного елемента представлені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Потужність, споживана силовим струминним елементом $N_{сп}$, в залежності від тиску живлення $P_{ж}$

$P_{ж}$ кПа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$N_{сп}$ Вт	0,7	2,5	4,0	6,3	9,0	12,0	15,2	18,8	22,6	26,7	31,1	35,6	40,4	45,4	50,6

Графічні залежності витрати живлячого повітря Q і потужності, споживаної силовим струминним елементом $N_{сп}$, в залежності від тиску живлення $P_{ж}$, представлені на рис. 5.13.

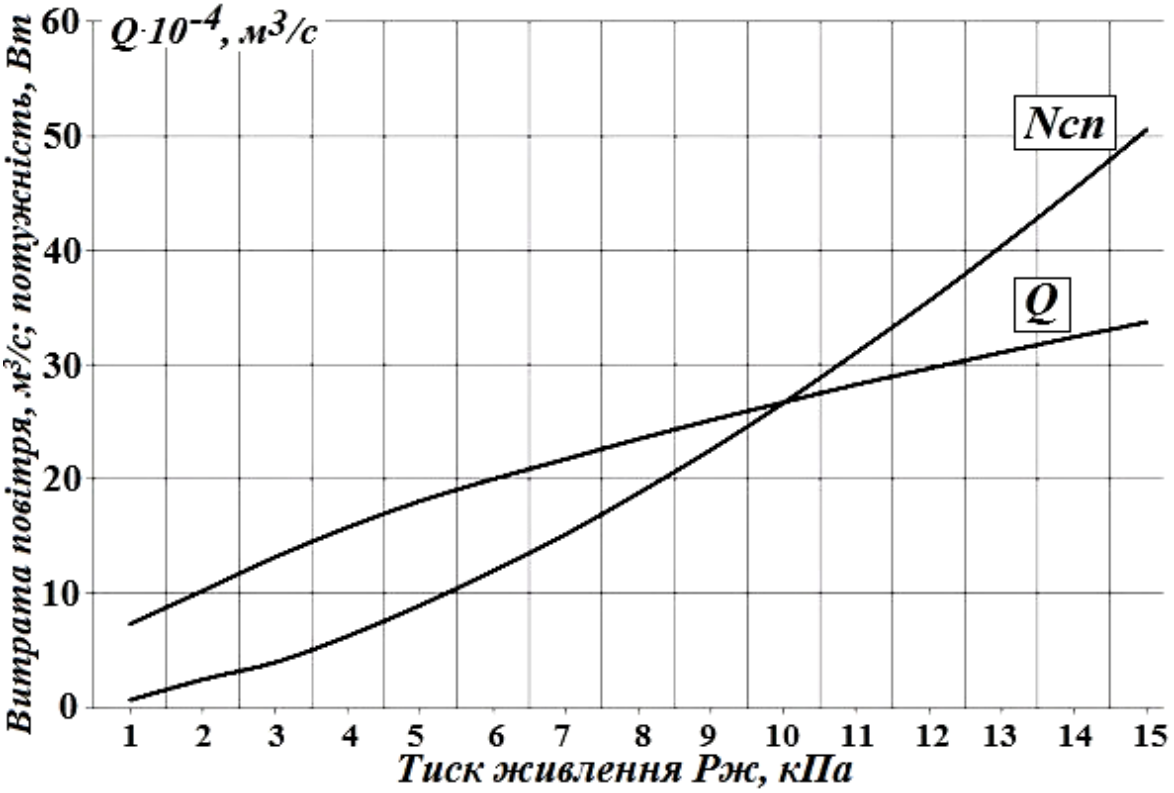


Рисунок 5.13 – Залежність витрати повітря Q і потужності, споживаної силовим струминним елементом $N_{сп}$, від тиску живлення $P_{ж}$, при площі перерізу сопла живлення струминного елемента $S = 34$ *мм*^{2} (*джерело: розроблено автором*)

5.5 Результати стендових випробувань силового елемента-ежектора

Результати стендових випробувань елемента-ежектора показані на рис. 5.14. Згідно рис. 5.14, зі збільшенням тиску живлення зростають: витрата робочого Q_P і переміщуваного Q_R повітря (тобто, відповідно, активного і пасивного газових середовищ), а також величина розрідження R в каналі навантаження. При збільшенні прохідного перерізу каналу коефіцієнт ежекції ($u = Q_R/Q_P$) зростає, і при умовному діаметрі каналу 12мм досягає значення 0,9. Оскільки робочий тиск живлення висівного апарата з елементами пневмоніки становить 7 кПа, то потужність, споживана елементом-ежектором, виходячи з рівняння 5.5, при Q_p = 0,00237 м^3/с (рис. 5.14) складе 16,6 Вт, що можна порівняти з потужністю, споживаної силовим струминним елементом при такому ж тиску живлення (табл. 5.5).

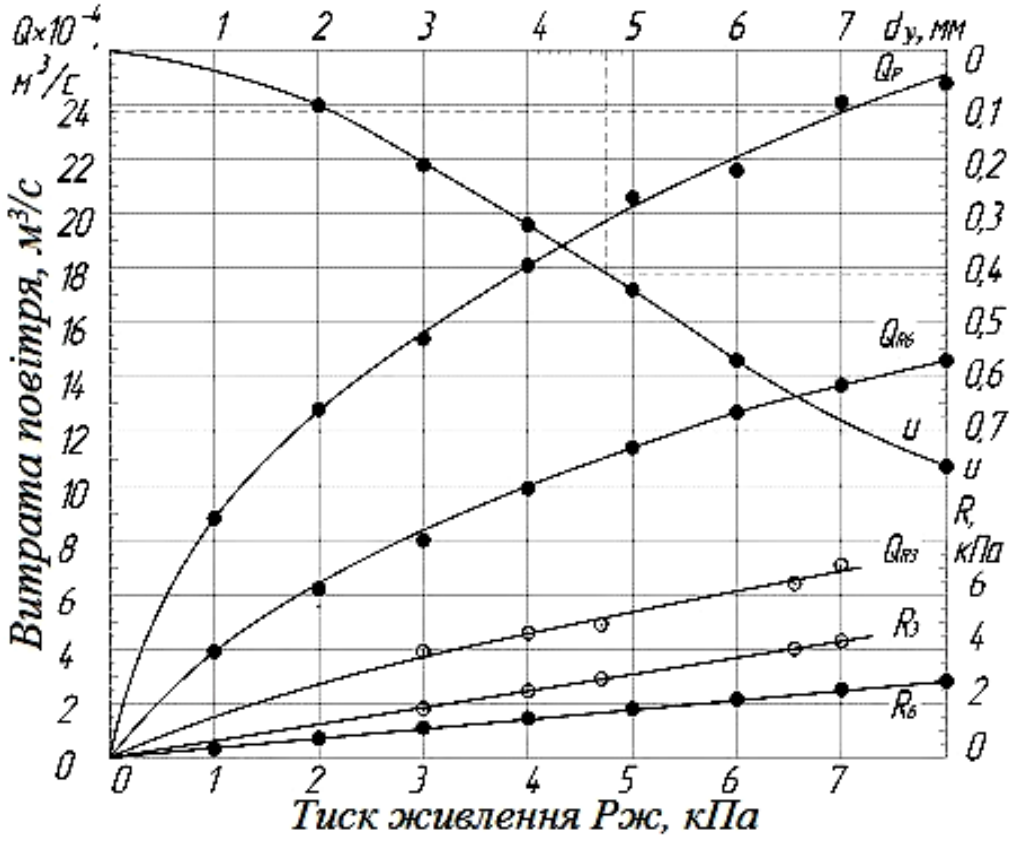


Рисунок 5.14 – Характеристики плоского елемента-ежектора: R – створене розрідження; Q_P и Q_R – витрати робочого і переміщуваного повітря; R_3, R_6 – розрідження в каналах діаметром 3 і 6 мм; Q_{R3}, Q_{R6} – витрати переміщуваного повітря через відповідні канали; u – коефіцієнт ежекції; d_y – умовний діаметр каналу навантаження (*джерело: розроблено в [5], с. 328)*

Розроблений на основі випробувань силовий струминний елемент-ежектор для висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки показаний на рис. 5.15.

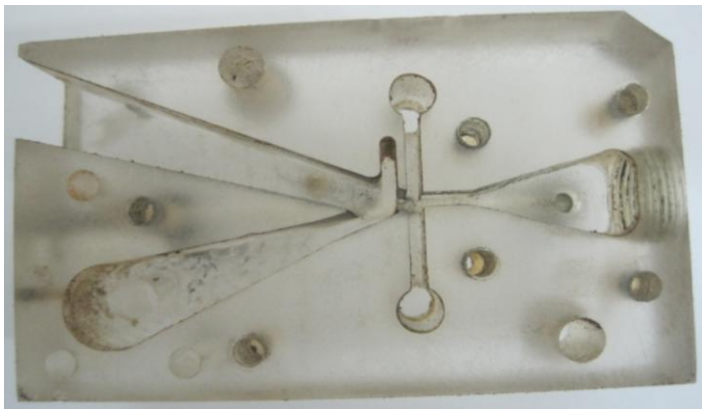


Рисунок 5.15 – Струминний елемент-ежектор (*джерело: розроблено автором*)

5.6 Результати експериментальних досліджень висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки

5.6.1 Результати досліджень нерівномірності і нестійкості висіву запропонованими висівними апаратами

Показники, що характеризують нерівномірність і нестійкість дозування висівного апарату з пневматичним підсилювачем (рис. 5.16) представлені в табл.5.6.



Рисунок 5.16 – Загальний вигляд висівного апарату з пневматичним підсилювачем на стендових випробуваннях (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.6 – Результати досліджень запропонованого висівного апарату з пневматичним підсилювачем

Вид насіння	Маса 1000 шт., грам	Норма висіву, кг/га	Нахил, град.	Коефіцієнт варіації, %	
				нерівно-мірності висіву між апаратами	нестій-кості висіву
Пшениця	34,0	200,0	- боковий, 12 назад, 12 вперед,12	2,3 2,3 2,4 2,4	2,2 2,2 2,3 2,5
Ячмінь	39,0	150,0	-	3,2	2,9
Овес	28,0	150,0	-	4,0	2,9
Жито	23,0	150,0	-	2,9	2,7

Показники, що характеризують нерівномірність і нестійкість висіву при роботі висівного апарату з вихровим клапаном (рис. 5.17) представлені в табл. 5.7.

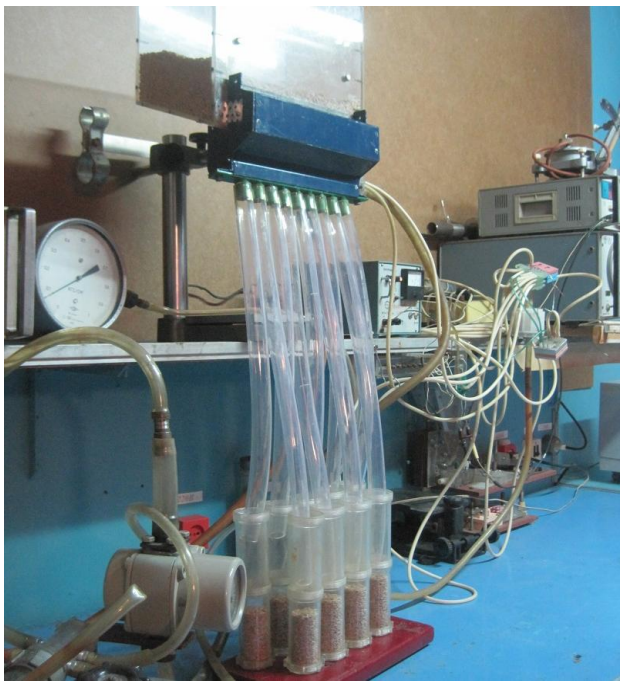


Рисунок 5.17 – Загальний вигляд запропонованого висівного апарату з вихровим клапаном на стендових випробуваннях (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.7 – Результати досліджень запропонованого висівного апарату з вихровим клапаном

Вид насіння	Маса 1000 шт., грам	Норма висіву, кг/га	Нахил, град.	Коефіцієнт варіації, %	
				нерівно-мірності висіву між апаратами	нестій-кості висіву
Пшениця	34,0	200,0	- боковий, 12 назад, 12 вперед,12	2,3 2,3 2,4 2,2	2,1 2,4 2,2 2,3
Ячмінь	39,0	150,0	-	2,7	2,4
Овес	28,0	150,0	-	4,2	2,4
Жито	23,0	150,0	-	2,2	2,5

Показники, що характеризують нерівномірність і нестійкість висіву при роботі універсального висівного апарату без рухомих деталей (рис. 5.18) представлені в табл. 5.8.

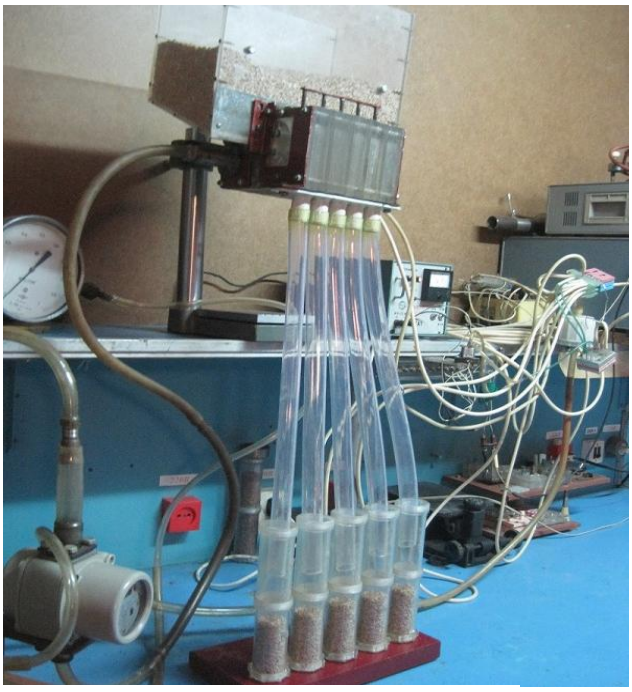


Рисунок 5.18 – Загальний вигляд запропонованого універсального висівного апарату без рухомих деталей на випробуваннях (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.8 – Результати досліджень вдосконаленого висівного апарату без рухомих деталей

Вид насіння	Маса 1000 шт., грам	Норма висіву, кг/га	Нахил, град.	Коефіцієнт варіації, %	
				нерівно-мірності висіву між апаратами	нестій-кості висіву
Пшениця	34,0	200,0	- боковий, 12 назад, 12 вперед,12	2,7 3,1 3,1 2,9	2,4 2,6 3,0 2,9
Ячмінь	39,0	150,0	-	2,8	2,7
Овес	28,0	150,0	-	3,5	2,7
Жито	23,0	150,0	-	2,7	2,4

Показники, що характеризують нерівномірність і нестійкість висіву при роботі маятникового висівного апарату (рис. 5.19) представлені в табл. 5.9.



Рисунок 5.19 – Загальний вигляд запропонованого маятникового висівного апарату на стендових випробуваннях (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.9 – Результати досліджень запропонованого маятникового висівного апарату

Вид насіння	Маса 1000 шт., грам	Норма висіву, кг/га	Нахил, град.	Коефіцієнт варіації, %	
				нерівно-мірності висіву між апаратами	нестій-кості висіву
1	2	3	4	5	6
Пшениця	34,0	200,0	- боковий, 12 назад, 12 вперед, 12	-	2,4 2,5 3,0 2,6
Ячмінь	39,0	150,0	-	-	3,0
Овес	28,0	150,0	-	-	2,8
Жито	23,0	150,0	-	-	2,7

Показники, що характеризують нерівномірність і нестійкість висіву струминного вихрового розподілювача насіння (рис. 5.20) представлені в табл. 5.10.



Рисунок 5.20 – Загальний вигляд запропонованого струминного вихрового розподілювача насіння на стендових випробуваннях (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.10 – Результати досліджень вихрового розподілювача насіння

Вид насіння	Маса 1000 шт., грам	Норма висіву, кг/га	Нахил, град.	Коефіцієнт варіації, %	
				нерівно-мірності висіву між апаратами	нестій-кості висіву
Пшениця	34,0	200,0	- боковий, 12 назад, 12 вперед,12	3,1 4,4 4,3 3,0	2,5 2,8 2,9 2,9
Ячмінь	39,0	150,0	-	3,7	2,6
Овес	28,0	150,0	-	3,8	2,7
Жито	23,0	150,0	-	3,3	2,5

При аналізі даних, представлених в табл. 5.6-5.10 можна відзначити їх відповідність агротехнічним вимогам, оскільки у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами в сошник висівних апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%.

Встановлено, що при висіві насіння вівса, з більш видовженою формою, ніж пшениця, ячмінь або жито, нерівномірність висіву підвищується. Крім того, при нахилі вихрового розподільника посівного матеріалу понад 12^0 також має місце підвищення нерівномірності висіву.

5.6.2 Результати досліджень поздовжнього розподілу насіння

Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при роботі висівного апарата з пневматичним підсилювачем (рис. 5.21), представлені в табл. 5.11.



Рисунок 5.21 – Загальний вигляд запропонованого висівного апарату з пневматичним підсилювачем при випробуваннях на липкій стрічці (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.11 – Показники поздовжнього розподілу при висіві на липку стрічку запропонованим висівним апаратом з пневматичним підсилювачем

Посівний матеріал	Маса 1000 штук, г	Норма висіву, кг/га	Частка ділянок з кількістю насіння, %									Середнє число насінин $x_{ср}$	Середньоквадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації V, %
			0	1	2	3	4	5	6	7	8			
Пшениця	34	105	7	25	27	24	9	5	3	0	0	2,31	1,41	61,1
Ячмінь	39	111	12	23	29	22	10	3	1	0	0	2,13	1,35	63,3

Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при роботі універсального висівного апарата без рухомих деталей (рис. 5.22), представлені в табл. 5.12.



Рисунок 5.22 – Загальний вигляд запропонованого універсального висівного апарату без рухомих деталей при випробуваннях на липкій стрічці (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.12 – Показники поздовжнього розподілу насіння при висіві на липку стрічку запропонованим висівним апаратом без рухомих деталей

Посівний матеріал	Маса 1000 штук, г	Норма висіву, кг/га	Частка ділянок з кількістю насіння, %									Середнє число насінин $x_{ср}$	Середньоквадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації V, %
			0	1	2	3	4	5	6	7	8			
Пшениця	34	145	5	11	24	25	14	9	8	4	0	3,21	1,74	54,1
Ячмінь	39	101	19	27	25	16	5	4	3	1	0	1,94	1,58	81,4

Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при роботі висівного апарата с вихровим клапаном (рис.5.23), представлені в табл. 5.13.



Рисунок 5.23 – Загальний вигляд запропонованого висівного апарату з вихровим клапаном при випробуваннях на липкій стрічці (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.13 – Показники поздовжнього розподілу насіння при висіві на липку стрічку запропонованим висівним апаратом з вихровим клапаном

Посівний матеріал	Маса 1000 штук, г	Норма висіву, кг/га	Частка ділянок з кількістю насіння, %									Середнє число насінин $x_{ср}$	Середньоквадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації V, %
			0	1	2	3	4	5	6	7	8			
Пшениця	34	115	8	18	26	24	13	7	3	1	0	2,53	1,36	53,7
Ячмінь	39	90	19	30	27	14	6	3	1	0	0	1,72	1,34	78,1

Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при роботі струминного вихрового розподілювача (рис. 5.24), представлені в табл. 5.14.



Рисунок 5.24 – Загальний вигляд запропонованого струминного вихрового розподілювача насіння при випробуваннях на липкій стрічці (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.14 – Показники поздовжнього розподілу насіння при висіві на липку стрічку запропонованим струминним вихровим розподілювачем насіння

Посівний матеріал	Маса 1000 штук, г	Норма висіву, кг/га	Частка ділянок з кількістю насіння, %									Середнє число насінин x_{cp}	Середньоквадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації V, %
			0	1	2	3	4	5	6	7	8			
Пшениця	34	136	6	14	19	23	20	11	6	1	0	3,01	1,63	54,1
Ячмінь	39	98	18	25	30	13	8	4	2	0	0	1,89	1,40	74,1

Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при роботі маятникового висівного апарата (рис. 5.25), представлені в табл. 5.15.

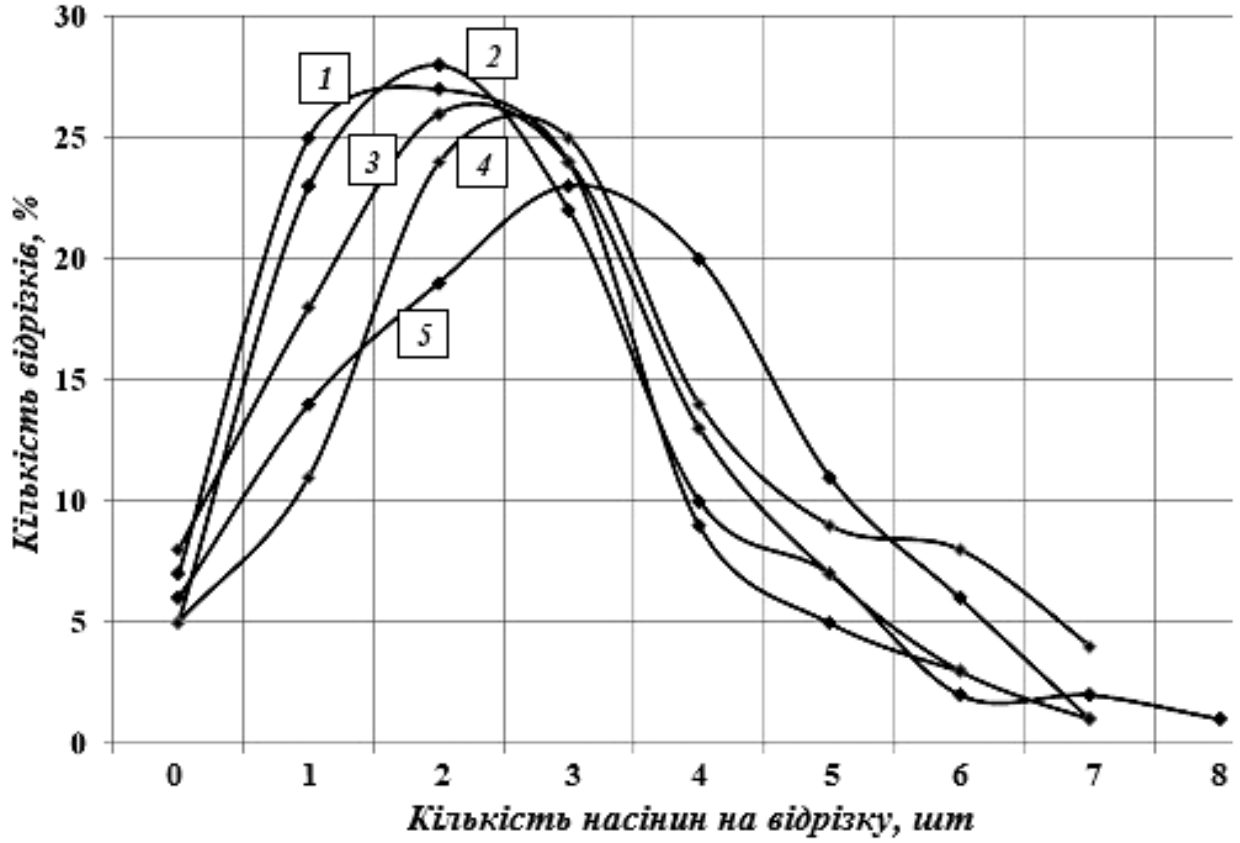


Рисунок 5.25 – Загальний вигляд запропонованого маятникового висівного апарату при випробуваннях на липкій стрічці (*джерело: розроблено автором*)

Таблиця 5.15 – Показники поздовжнього розподілу насіння при висіві на липку стрічку запропонованим маятниковим висівним апаратом

Посівний матеріал	Маса 1000 штук, г	Норма висіву, кг/га	Частка ділянок з кількістю насіння, %									Середнє число насінин $x_{ср}$	Середньоквадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації V, %
			0	1	2	3	4	5	6	7	8			
Пшениця	34	115	5	23	28	22	10	7	2	2	1	2,53	1,59	63,0
Ячмінь	39	85	20	35	23	12	5	4	1	0	0	1,63	1,37	83,9

Закономірності поздовжнього розподілу насіння пшениці на липкій стрічці представлені на рис. 5.26.



1 – з пневматичним підсилювачем; *2* – маятниковим; *3* – з вихровим клапаном; *4* – без рухомих деталей; *5* – вихровим розподільником насіння

Рисунок 5.26 – Закономірності поздовжнього розподілу насіння пшениці при висіві запропонованими висівними апаратами (*джерело: розроблено автором*)

Як приклад дамо ілюстрацію емпіричної залежності розподілу насіння для висівного апарата з вихровим клапаном. Виявлено, що її можна апроксимувати кубічної регресією:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \tag{5.6}$$

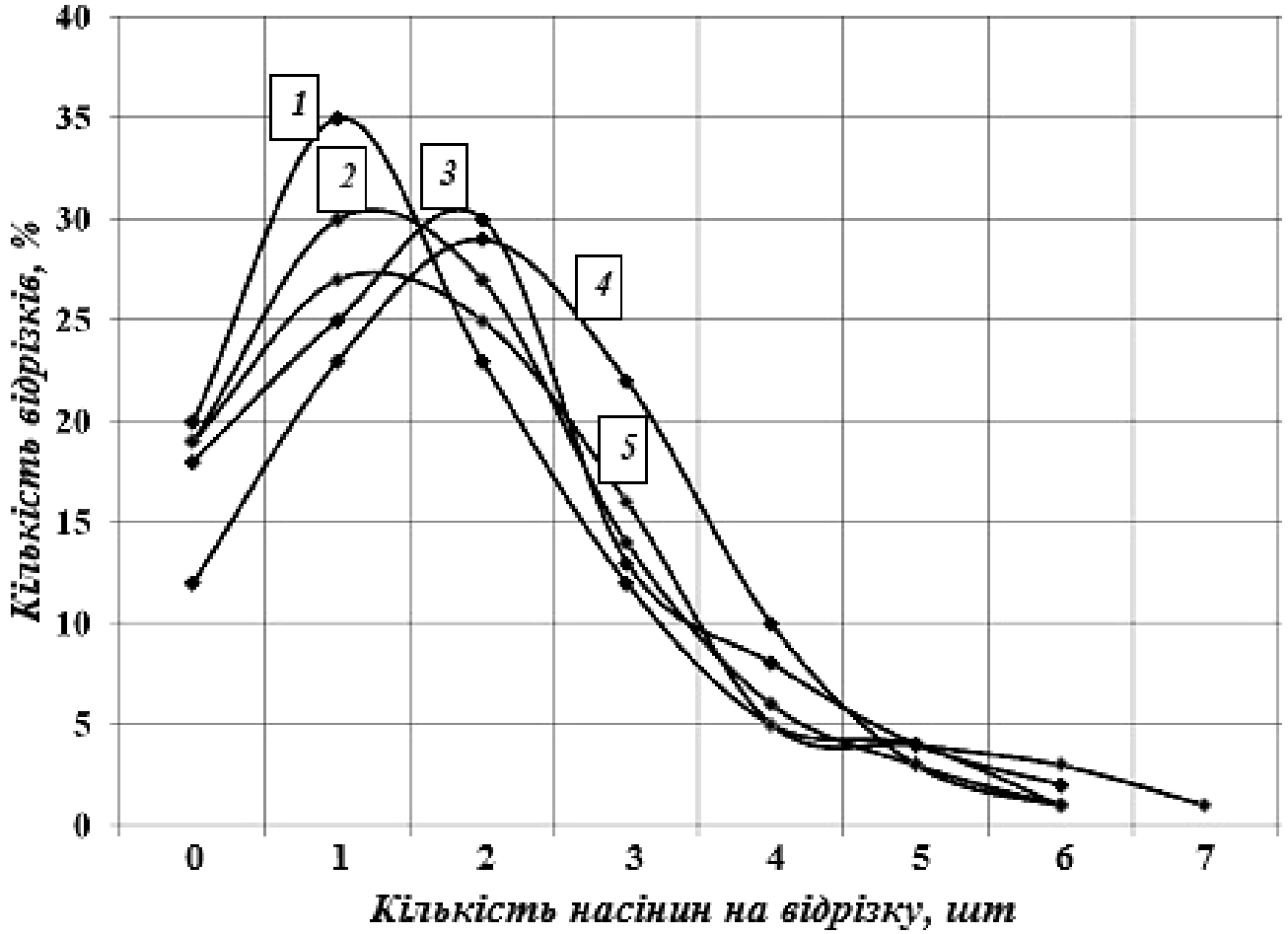
де y – доля ділянок з числом насінин, %;

a, b, c, d – коефіцієнти рівняння регресії. Для висівного апарата з вихровим клапаном $a = 0{,}4848$, $b = -6{,}2814$, $c = 19{,}381$, $d = 7{,}0758$.

x – число насінин на ділянці, шт.

Похибка апроксимації $\Delta A = 15{,}7\%$, фактичний критерій Фішера $F_Ф = 38{,}2$, табличний (критичний) $F_T = 6{,}59$. Оскільки $F_Ф > F_T$, то рівняння регресії є статистично надійним.

Закономірності поздовжнього розподілу насіння ячменю на липкій стрічці представлені на рис. 5.27. Встановлено, що дані закономірності також задовільно апроксимуються кубічної регресією виду (5.6). Наприклад, для висівного апарата з пневматичним підсилювачем коефіцієнти рівняння регресії $a = 0,7778$, $b = -8,6667$, $c = 22,2698$, $d=11,1429$. Похибка апроксимації $\Delta A = 9,67\%$, фактичний критерій Фішера $F_Ф = 50,7$, табличний (критичний) $F_T = 9,3$. Оскільки $F_Ф > F_T$, то це означає, що рівняння регресії є статистично надійним.



1 – маятниковим; *2* – висівним апаратом з вихровим клапаном; *3* – вихровим розподільником насіння; *4* – висівним апаратом з пневматичним підсилювачем; *5* – висівним апаратом без рухомих деталей

Рисунок 5.27 – Закономірності поздовжнього розподілу насіння ячменю при висіві запропонованими висівними апаратами (*джерело: розроблено автором*)

Аналізуючи залежності на рис. 5.26 і рис. 5.27 можна відзначити, що досліджувані висівні апарати і системи з елементами пневмоніки показують

ідентичні характеристики поздовжнього розподілі певних видів посівного матеріалу, що обумовлено принципом дії апаратів і систем з елементами пневмоніки [6, 8]. Це підтверджує дані роботи [4], де зазначається, що незалежно від форми висівного елемента, висівні апарати і системи дають приблизно однакову рівномірність розподілу насіння вздовж рядка, а також дані роботи [7], де вказано, що при сівбі зернових культур короткі відрізки при розподіленні посівного матеріалу є найбільш частими.

При висіві насіння ячменю спостерігається більше ділянок з відсутністю насінин, а також має місце погіршена рівномірність розподілу в порівнянні з насінням пшениці, що пояснюється фізико-механічними характеристиками насіння ячменю, а також меншою нормою висіву, яка регулюється частотою імпульсів в блоці управління. Так як в одиницю часу та на одиницю довжини припадає менше імпульсів подачі посівного матеріалу, то потік насіння виходить більш дискретним при розподілі на поверхні.

Залежність впливу норми висіву H_B на коефіцієнт варіації V поздовжнього розподілу насіння представлена на рис. 5.28.

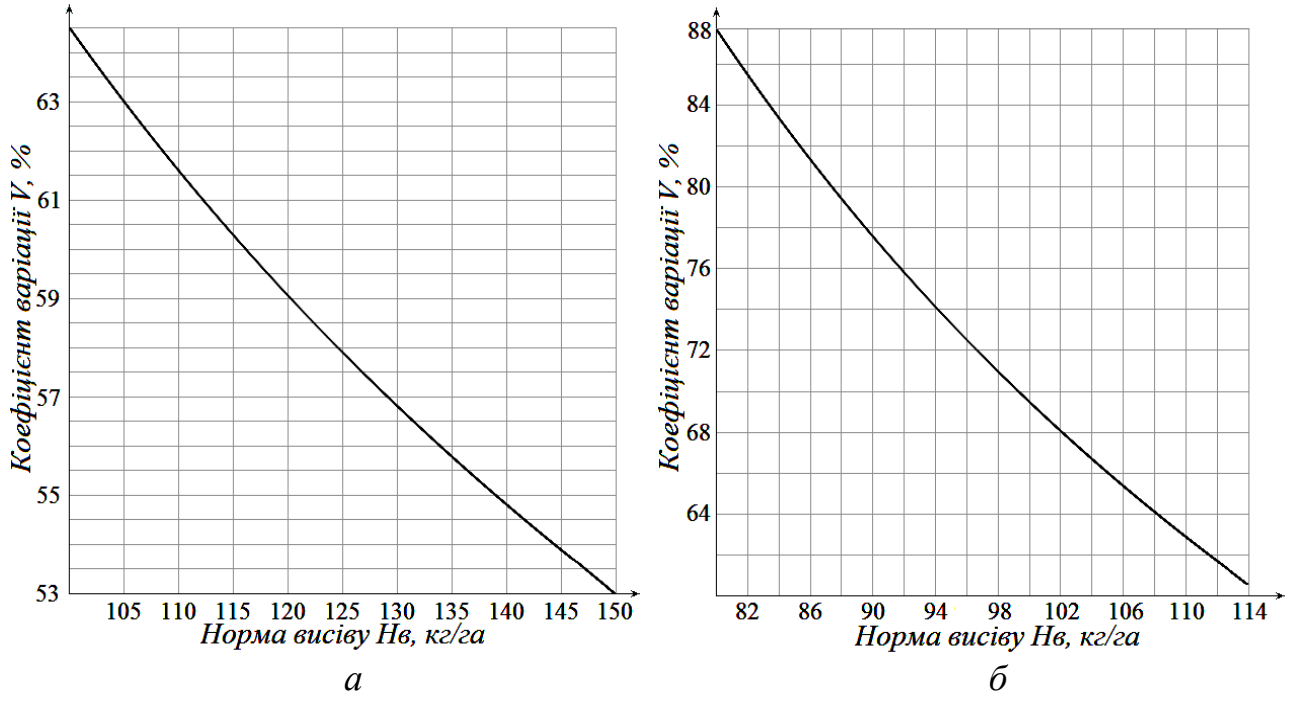


Рисунок 5.28 – Вплив норми висіву на рівномірність поздовжнього розподілення вихідного потоку насіння пшениці (*а*) і ячменя (*б*) (*джерело: розроблено автором*)

Залежності, які представлені на рис. 5.28 показують, що із зменшенням норми висіву рівномірність розподілу насіння пшениці та ячменю погіршується, що пояснюється підвищеною дискретністю подачі потоку насіння, що відповідає даним, наведеним в роботі [2].

Отримані залежності апроксимуються степеневої регресією:

$$V = a \cdot H_B^b, \%, \tag{5.7}$$

де H_B – норма висіву;

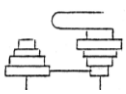
a, b – коефіцієнти регресії. Для насіння пшениці $a = 601{,}9592$, $b = -0{,}4854$, а для насіння ячменю $a = 7878{,}7704$, $b = -1{,}0225$.

Похибка апроксимації $\Delta A = 1{,}1\%$, фактичний критерій Фішера $F_Ф = 116{,}2$, табличний (критичний) $F_T = 18{,}5$. Так як $F_Ф > F_T$, то це означає, що рівняння регресії є статистично надійним.

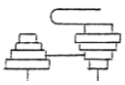
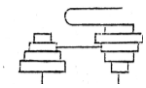
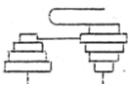
5.7 Результати випробувань автоматизованої системи регулювання норми висіву

Показники норми висіву, при управлінні положенням багатопозиційного пневматичного перемикача в автоматизованій системі регулювання норми висіву, представлені в табл. 5.16.

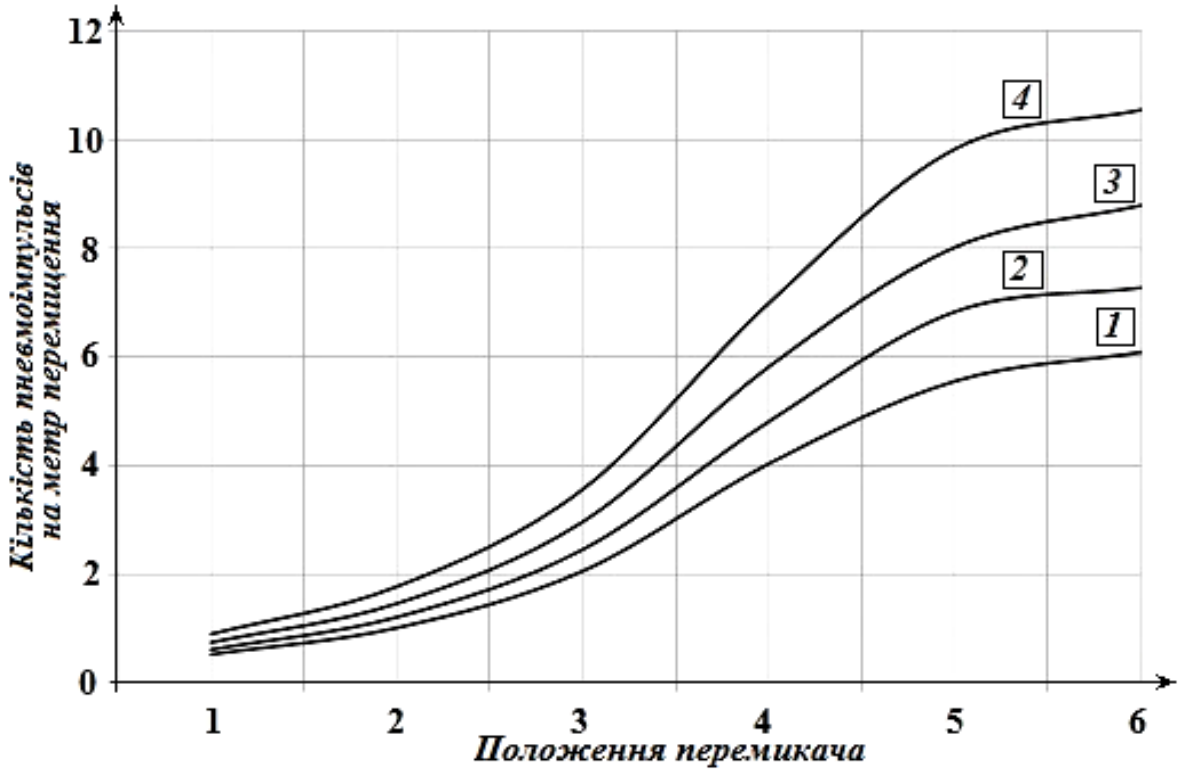
Таблиця 5.16 – Число пневмоімпульсів блоку управління на метр переміщення

Положення ременя на шківах приводу блоку управління	Положення багатопозиційного пневматичного перемикача					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
1 	0,51	1,00	2,05	4,03	5,55	6,08

Продовження таблиці 5.16

1	2	3	4	5	6	7
2 	0,61	1,21	2,46	4,82	6,84	7,28
3 	0,74	1,46	2,97	5,83	8,03	8,80
4 	0,88	1,76	3,56	7,00	9,84	10,56

Графічну залежність кількості пневмоімпульсів на метр переміщення сівалки, від положення пневматичного перемикача системи управління нормою висіву представлено на рис. 5.29.



1...4 – положення паса на шківах приводу блоку управління

Рисунок 5.29 – Показники регулювання автоматизованим виконавчим механізмом зміни норми висіву: (*джерело: розроблено автором*)

Отримані залежності можна апроксимувати кубічної регресією:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \tag{5.8}$$

де y – число пневмоімпульсів на метр переміщення сівалки;

a, b, c, d – коефіцієнти рівняння регресії. Наприклад, для 1-го положення ременя на шківах приводу блока управління $a = -0{,}1104$, $b = 1{,}1960$, $c = -2{,}5165$, $d = 1{,}9833$.

x – положення багатопозиційного пневматичного перемикача ($x = 1 \ldots 6$).

Похибка апроксимації $\Delta A = 5{,}6\%$, фактичний критерій Фішера $F_Ф = 330{,}5$, табличний (критичний) $F_T = 19{,}2$. Так як $F_Ф >> F_T$, то рівняння регресії є статистично надійним.

Висновки по п'ятому розділу

1. Показано, що ґрунт, підготовлений до сівби, є зв'язним сипучим середовищем зі значенням початкового опору зсуву $\tau_0 \approx 334$ *Па*.

2. Виявлено, що геометричні характеристики силового струминного елемента, розраховані теоретично або обрані відповідно до рекомендацій для управляючих елементів пневмоніки, не дозволяють забезпечити якісну роботу силового елемента. Тому необхідно брати до уваги гідродинамічну подібність і масштабні фактори, які встановлюються шляхом моделювання.

3. Дослідженнями визначено, що використання програмного середовища моделювання ANSYS Fluent дозволяє:

- досліджувати процеси, що протікають у проточних частинах силового струминного елемента;
- отримати наочну картину процесу перемикання силового струминного елемента, що дає можливість аналізувати механізм перемикань;
- розробити заходи щодо поліпшення якості робочого процесу силового струминного елемента і вирішити завдання оптимізації його геометричних характеристик.

4. Вперше методом імітаційного моделювання отримана картина перемикання струменя в силових струминних елементах. Вона відрізняється від загальноприйнятої картини перемикання, яка існувала раніше, де при дослідженні і розробці силових струминних елементів приймалася модель перемикання, заснована на непрямих результатах експериментальних досліджень, що не давало повної картини процесу перемикання і характеру виникнення пульсацій тиску, які викликають помилкові спрацьовування.

5. Випробування запропонованих пневматичних дискретних висівних струминних апаратів і систем на рівномірність і нестійкість висіву показано їх відповідність агротехнічним вимогам, оскільки у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%.

6. Встановлено, що при висіві насіння з різними фізико-механічними властивостями, показники нерівномірності і нестійкості висіву змінюються. При нахилі вихрового розподільника насіння понад 12^0 характеристики рівномірності висіву погіршуються.

7. Показано, що досліджуване сімейство запропонованих дискретних висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки володіє ідентичними характеристиками поздовжнього розподілу певних видів посівного матеріалу, що обумовлено принципом дії таких апаратів і систем. При цьому коефіцієнт варіації знаходиться в межах 54...84% для різних видів насіння і конструкцій висівних пристроїв.

8. Виявлено, що при зменшенні норми висіву має місце погіршена рівномірність поздовжнього розподілу насіння, що можна пояснити підвищеною дискретністю подачі потоку посівного матеріалу. Отже, при регулюванні норми висіву бажано збільшувати число пневматичних імпульсів на метр переміщення, щоб стабілізувати норму висіву і тим самим знизити нерівномірність подачі та розподілу посівного матеріалу.

РОЗДІЛ 6
ЕНЕРГЕТИЧНА І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК, ВИСІВНИХ АПАРАТІВ І СИСТЕМ

6.1 Оцінка питомої енергоємності зернових сівалок

Визначення показників енергоспоживання та потужності для роботи висівних апаратів і систем аналогової і дискретної дії розглядаються в ряді робіт [1, 7, 8, 12, 17, 21-23, 27, 28, 34, 35-37, 41]. Однак систематизовані дослідження з цього питання відсутні, що ставить завдання встановлення характеру якісного і кількісного впливу енергетичних показників роботи висівних систем на їх розвиток, а також на розвиток і вдосконалення посівних машин і агрегатів в цілому.

Дослідження показників енергетичної ефективності посівних машин, висівних апаратів і систем здійснюються для визначення балансу енергоємності, який є відображенням закону збереження енергії в умовах конкретного виробництва [38].

При визначенні енергобалансу визначається ступінь корисного використання енергії, проводиться пошук шляхів зниження витрат і раціоналізації енергоспоживання. Тому основним видом балансу слід вважати баланс активної енергії, який, в основному, відображає реальний режим енергоспоживання і рівень використання енергії, що визначає технічний рівень розглянутих посівних машин.

6.1.1 Оцінка питомої енергоємності зернових сівалок з висівними апаратами та системами аналогової дії

Одним із показників ефективності роботи зернових сівалок є питома енергоємність, згідно [28], яка визначається тяговим опором та його складовими.

Зернові сівалки з котушковими висівними апаратами. Визначимо показники питомої енергоємності для 40-рядної сівалки Astra-6 з наступними характеристиками: конструктивна маса $m_к$ = 2780 кг, ширина захвату B = 6 м, матеріаломісткість $m_{пит}$ = 463,3 кг/м, кількість сошників n_c = *40*.

Тяговий опір сільськогосподарських машин, та зокрема посівної машини P_c складається з наступних складових, згідно [27, 42, 43, 47]:

$$P_c = R_n + R_c + R_a + R_{тр} + R_{уд}, \; H, \tag{6.1}$$

де R_n – опір перекочуванню коліс сівалки по ґрунту, Н;

R_c – опір сошників, Н;

R_a – опір висівних апаратів, Н;

R_m – опір тертю в механізмах передач і підшипниках, Н;

$R_{пит}$ – опір від випадкових поштовхів і ударів, Н.

Визначимо складові рівняння (6.1). Середній опір перекочуванню по ораному ґрунту складає 20…25% від ваги сівалки, тобто:

$$R_n = (0{,}2...0{,}25)G_c, \tag{6.2}$$

де $G_c = m_e \cdot g$ – експлуатаційна вага сівалки Astra-6.

Експлуатаційна маса m_e сівалки Astra-6 дорівнює сумі конструктивної маси $m_к = 2780$ *кг* та маси насіння в бункері. Масу насіння в бункері, приймаємо однаковою для усіх розглянутих сівалок, або $m_н = 1000$ *кг*.

Тоді для сівалки Astra-6: $G_c = 3780 \cdot 9{,}81 = 37082$ *Н*, $R_n = 0{,}2 \cdot 37082 = 8158$ *Н*.

Розглянемо опір сошників, занурених у ґрунт. На підставі робіт [27, 39] приймаємо опір сошника $p_{сш} = 150$ *Н*:

$$R_c = p_{сш} \cdot n_c, \tag{6.3}$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо $R_c = 6000$ *Н*.

Опір висівних апаратів R_a та опір тертю R_m в механізмах передач і підшипниках виразимо за допомогою потужності на привод висівної системи.

Швидкість руху приймаємо рівною $V_p \approx 3{,}33$ *м/с* (12 км/год). Згідно роботі [39], по таблиці передатних відносин на вал насіннєвисівних апаратів кутову швидкість обертання ω опорно-приводного колеса сівалки діаметром $D_к = 1245$ *мм* $= 1{,}245$ *м*, с урахуванням ковзання коліс ($\varepsilon = 0{,}05$) визначено за формулою:

$$\omega = (1-\varepsilon)V_p / 0{,}5D_к. \quad (6.4)$$

Підставивши в формулу (6.4) необхідні дані, отримаємо $\omega = 5{,}08$ с$^{-1}$.

З урахуванням передавального відношення від коліс на вал висівних апаратів $i = 0{,}616$ (для пшениці) кутова швидкість котушок $\omega_к$ визначається виразом:

$$\omega_к = \omega / i. \quad (6.5)$$

У чисельному виразі отримаємо $\omega_к = 8{,}25$ с$^{-1}$.

Знаючи крутний момент на котушці ($M_к \approx 1{,}8$ *Нм*), згідно [34], визначимо потужність на привод однієї котушки $N_к$:

$$N_к = M_к \cdot \omega_к. \quad (6.6)$$

Або $N_к = 14{,}8$ Вт. С урахуванням ККД приводу $\eta_п \approx 0{,}85$ (варіатор і ланцюгова передача), підведена до однієї котушки потужність $N_{пк}$ складає:

$$N_{пк} = N_к / \eta_п. \quad (6.7)$$

Підставивши необхідні дані, отримаємо $N_{пк} = 17{,}5$ Вт.

При кількості котушок $n_к = 40$ отримаємо сумарну підведену до котушок потужність $\Sigma N_{пк} = 700$ *Вт*, що не суперечить даним роботи [37]. Проведемо аналогічні розрахунки також для інших культур (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Залежність сумарної підведеної потужності $\Sigma N_{пк}$, Вт, від виду культури при $n_к = 40$

Просо $i = 0{,}198$, $\omega_к = 25{,}6\ с^{-1}$,	Гречка $i = 0{,}428$, $\omega_к = 11{,}9\ с^{-1}$,	Ячмінь $i = 1{,}33$ $\omega_к = 2{,}9\ с^{-1}$,
2173	1005	323

Очевидно, що значення сумарної підведеної до котушок потужності $\Sigma N_{пк}$ залежить від розмірно-масових характеристик посівного матеріалу. Отже, чим

менше розміри насіння і більша їх об'ємна вага, тим більша і величина сумарної підведеної потужності $\Sigma N_{пк}$.

Опір від випадкових поштовхів і ударів визначаємо коефіцієнтом можливого перевантаження $v_ц$, значення якого дорівнює 1,1…1,3, згідно [3, 10, 42, 43].

На підставі вищевикладених міркувань, потужність на крюку трактора $N_{кр.ск}$, необхідну для сівалки з котушковими висівними апаратами для подолання її тягового опору визначають за формулою:

$$N_{кр.ск} = v_c \left[(R_n + R_c) \cdot V_p + \Sigma N_{пк} \right]. \quad (6.8)$$

Підставивши $v_ц$ = 1,15, після розрахунків отримаємо $N_{кр.ск}$ = 55072 Вт.

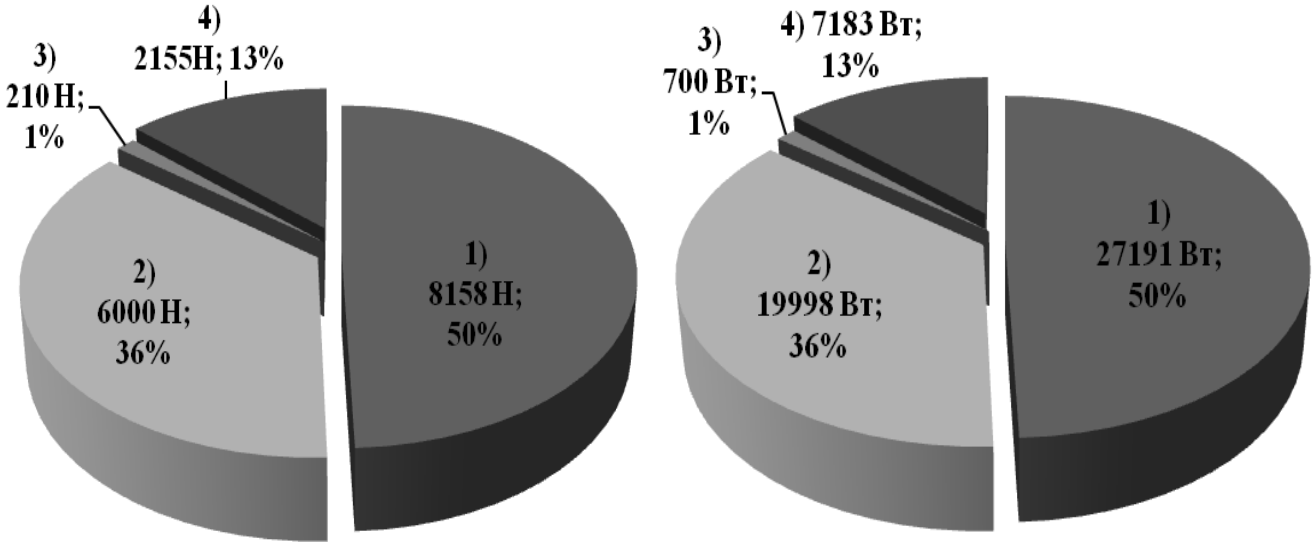
Значення складових крюкової потужності і тягового опору сівалки з котушковими висівними апаратами представлено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Значення складових тягового опору R, Н і крюкової потужності N, Вт, при швидкості руху 3,33 м/с

R_n, Н	R_c, Н	$R_a + R_m$, Н	$R_{уд}$, Н	P_c, Н
8158	6000	210	2155	16523
N_n, Вт	N_c, Вт	$N_a + N_{тр}$, Вт	$N_{уд}$, Вт	$N_{кр.ск}$, Вт
27191	19998	700	7183	55072

Графічне відображення балансу складових тягового опору та потужності для сівалки з котушковими висівними апаратами представлено на рис. 6.1.

Важливою обставиною щодо сівалок з котушковими висівними апаратами є те, що відбір крюкової потужності від трактора здійснюється вже після всіх втрат потоку потужності на шляху від двигуна до посівної машині, на ґрунтовому фоні з недостатньою несучою здатністю. При цьому тяговий ККД $\eta_{тяг}$ трактора на сівбі дорівнює 0,48...0,58, згідно [32], і величина $N_{кр.ск}$, приведена до потужності двигуна таким шляхом, збільшується приблизно в 2 рази, відбираючись таким чином, від ефективної потужності двигуна.



а *б*

1 – опір перекочуванню; *2* – опір сошників; *3* – опір висівних апаратів і тертя; *4* – опір від поштовхів і ударів

Рисунок 6.1 – Баланс складових тягового опору (*а*) та крюкової потужності (*б*) для зернових сівалок з котушковими висівними апаратами

(*джерело: розроблено автором*)

Сумарні витрати потужності $N_{ск}$, або необхідну ефективну потужність двигуна N_e трактору для посівного МТА із зерновою сівалкою з котушковими висівними апаратами, з урахуванням тягового ККД, а також енергоємність $E_{ск}$ сівалки з котушковими висівними апаратами та питомий опір $p_{пит.р}$ для сівалки Astra-6 розраховуємо за формулами:

$$N_{ск} = N_e = \frac{N_{кр.ск}}{\eta_{тяг}}, \tag{6.9}$$

$$E_{ск} = \frac{N_{ск}}{B}, \tag{6.10}$$

$$p_{пит.р} = \frac{P_C}{B}. \tag{6.11}$$

Чисельні значення цих характеристик дорівнюють: $N_{ск}$ = 100,13 кВт, $E_{ск}$=16,7 кВт/м, $p_{пит.р}$ = 2,75 кН/м.

Виходячи з результатів розрахунків можна зробити висновок, що в структурі балансу потужності сівалок з котушковими висівними апаратами

найбільшу питому вагу має потужність на перекочування, що досягає 50%. Це має місце внаслідок високої матеріаломісткості сівалок. Потужність для приводу висівної системи порівняно невелика і складає 1%, що не суперечить даним, наведеним в літературі [27]. Отже, актуальною проблемою тут є зниження матеріаломісткості, зважаючи на те, що матеріаломісткість сівалки $m_{пит}$ = 463,3 кг/м значно перевищує рекомендоване значення, рівне 250…300 кг/м, згідно роботи [28].

Щодо енергоємності сівалок з котушковими висівними апаратами необхідно зазначити, що отримане значення $E_{ск}$ = 16,7 кВт/м також перевищує рекомендоване, рівне 10…15 кВт/м [28].

Розрахунковий питомий тяговий опір, визначений за формулою (6.11), відповідає значенням питомого тягового опору на графіку (рис. 2.6, *д*), яке для сучасного періоду розвитку посівних машин дорівнює 2,84 кН/м.

Похибка розрахунків питомого тягового опору розраховується за формулою:

$$\Delta p_{пит} = \frac{p_{пит.г} - p_{пит.р}}{p_{пит.г}}. \qquad (6.12)$$

Розрахована похибка становить 3,3%.

Зернові сівалки з пневматичними централізованими висівними системами. Для цього виду сівалок показники енергоємності визначимо для 48-рядної сівалки Solitair9/600KA з наступними характеристиками: конструктивна маса $m_к$ = 1430 кг, ширина захвату B = 6 м, матеріаломісткість $m_{пит}$ = *238,3 кг/м*.

Середній опір перекочуванню сівалки, визначений за формулою (6.2) дорівнює: $R_п = 0{,}22 \cdot 23838 = 5244$ *Н,* де G_c = *2430 · 9,81 =23838 Н* – експлуатаційна вага сівалки Solitair.

Експлуатаційна маса $m_е$ сівалки Solitair 9/600KA дорівнює сумі конструктивної маси сівалки $m_к$ = *1430 кг* та маси насіння в бункері (1000 кг).

Опір сошників, занурених у ґрунт та визначений за формулою (6.3) становить R_c = *7200 Н.*

Опір висівної системи R_a й опір тертю R_m в механізмах передач та підшипниках виразимо за допомогою потужності на привод $N_п$, питоме значення

якої по даним різних досліджень [8, 12] складає 1,10…1,72 кВт/м. Приймаємо середнє значення, або 1,41 кВт/м. Тоді для сівалки з $B = 6$ *м* отримаємо потужність на привод $N_n = 8{,}46$ *кВт*.

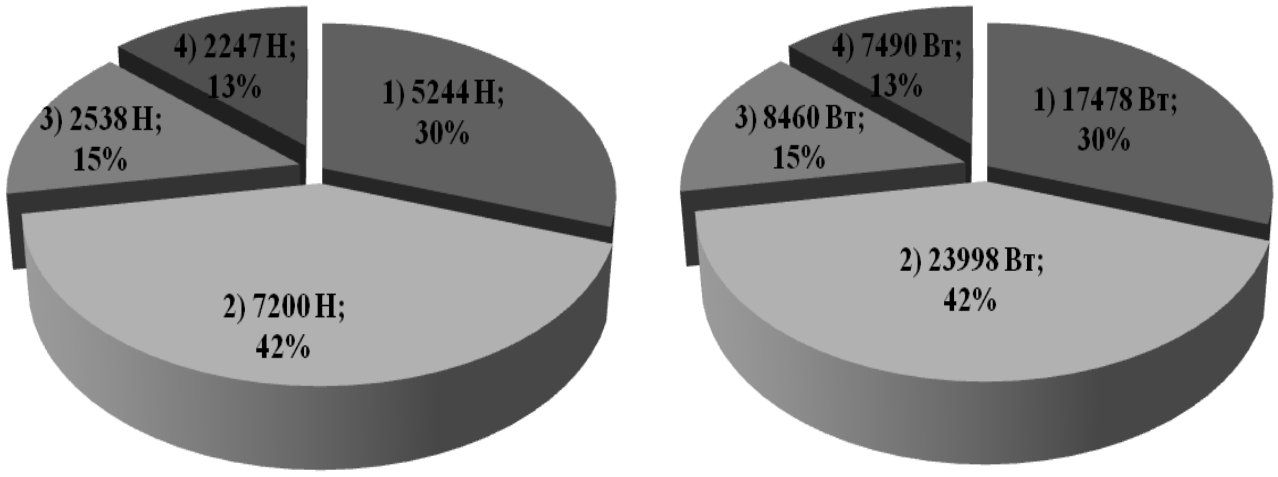
Приймаючі швидкість руху $V_p \approx 3{,}33$ *м/с* (12 км/год), по формулі (6.8) знайдемо крюкову потужність $N_{кр.сп}$ для сівалки з пневматичною висівною системою, або $N_{кр.сп}$ = 57426 Вт.

Значення складових крюкової потужності і тягового опору сівалки з пневматичною висівною системою представлено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення складових тягового опору R, Н і крюкової потужності N, Вт, при швидкості руху 3,33 м/с

R_n, Н	R_c, Н	$R_a + R_m$, Н	$R_{уд}$, Н	P_c, Н
5244	7200	2538	2247	17229
N_n, Вт	N_c, Вт	$N_a + N_{тр}$, Вт	$N_{уд}$, Вт	$N_{кр.сп}$, Вт
17478	23998	8460	7490	57426

Баланс складових тягового опору та потужності для сівалки з пневматичною висівною системою представлено на рис. 6.2.



а *б*

1 – опір перекочуванню; *2* – опір сошників; *3* – опір висівних апаратів і тертя; *4* – опір від поштовхів і ударів

Рисунок 6.2 – Баланс складових тягового опору (*а*) та крюкової потужності (*б*) для зернових сівалок з пневматичною висівною системою

(*джерело: розроблено автором*)

На відміну від сівалок з котушковими висівними апаратами, потік потужності на привод джерела тиску в пневматичній висівній системі надходить від валу відбору потужності (ВВП) трактора через редуктор і ремінну передачу, або від гідроприводу висівної системи, чи від додаткового двигуна внутрішнього згоряння. Тому тут немає втрат потужності, зумовлених тяговим ККД, який впливає лише на потужність, необхідну для пересування сівалки і подолання опору сошників, а необхідно враховувати втрати потужності для приводу джерела тиску від джерела енергії. У разі потоку потужності від двигуна трактора через ВВП, ККД механічного приводу джерела тиску складе $\eta_{пм} = 0,9$ (с урахуванням втрат в двох шестеренних і одній ремінній передачі в потоці потужності від двигуна до ВВП). У разі приводу джерела тиску від власної гідросистеми сівалки, ККД складе $\eta_{пг} = 0,70...0,75$ (с урахуванням ККД гідрооб′ємного приводу $\eta_{ГОП} = 0,7...0,8$).

Таким чином, сумарні витрати потужності для посівного агрегату з сівалкою з ПЦВС та з урахуванням тягового ККД складуть:

$$N_{сп} = N_e = \frac{1,15(5244 + 7200) \cdot 3,33}{0,55} + \frac{8460}{0,9} = 96122 \; Вт.$$

Питома енергоємність сівалки з пневматичною висівною системою, обчислена по формулі (6.10), дорівнює $E_{сп}$ = 16 кВт/м, а розрахунковий питомий тяговий опір для сівалки Solitair 9/600KA, обчислений по формулі (6.11) дорівнює $p_{пит.р}$ = 2,67 кН/м.

У структурі балансу потужності сівалок з пневматичними централізованими висівними системами найбільша питома вага припадає на потужність для подолання опору сошників, яка досягає 42%. На відміну від сівалок з котушковими висівними апаратами, потужність для приводу висівної системи становить 15%, оскільки закладений принцип дії ("ефект фонтану") є схильним до підвищених витрат енергії та потужності. Для забезпечення висіву за сошниках необхідно підняти насіння, долаючи гравітацію і турбулізувати, тобто штучно створити підвищений гідравлічний опір і подолати його. Лише подолання

гравітації підвищує енергоємність роботи в 2...3 рази, згідно [41]. Отже, актуальною проблемою тут, поряд зі зниженням інших складових балансу потужності, є зниження енерговитрат на роботу пневматичної висівної системи.

Щодо питомої енергоємності сівалок з пневматичними висівними системами необхідно зазначити, що отримане значення $E_{сп}$ = 16 кВт/м практично не відрізняється від сівалок з котушковими висівними апаратами і також перевищує рекомендовану, рівну 10...15 кВт/м. Таким чином, в даному випадку, переваги компонувальної схеми групового висіву сівалок з ПЦВС, що визначають зниження питомої матеріаломісткості, не дають ефекту щодо зниження питомої енергоємності робочого процесу в цілому.

6.1.2 Питома енергоємність зернових сівалок з висівними апаратами та системами вепольного дискретного принципу дії

Оцінимо показники ефективності енерговикористання відносно по питомій енергоємності машин такого типу на прикладі сівалок з вібродискретними висівними апаратами та з розробленими висівними апаратами на основі елементів пневмоніки.

Сівалки з вібродискретними висівними апаратами розглянемо на прикладі машини Клен-6. За даними виробників, для висівної системи сівалки Клен-6 з числом сошників $n_c = 48$ необхідно 250 Вт потужності на привод електромагнітних вібродискретних апаратів. Характеристики сівалки Клен-6: конструктивна маса $m_к$ = 2200 кг, ширина захвату B = 6 м, матеріаломісткість $m_{пит}$=366,7 кг/м, згідно [31]. Методику розрахунку питомої енергоємності приймаємо згідно п. 6.1.1.

Середнє значення опору руху сівалки на ораному ґрунті становить 20...25% від ваги сівалки, тобто:

$$R_n = 0,22 \cdot 32373 = 7122\ Н,$$

де $G_c = 3300 \cdot 9,81 = 32373\ Н$ – експлуатаційна вага сівалки Клен-6.

Експлуатаційна маса m_e сівалки Клен-6 дорівнює сумі конструктивної маси сівалки $m_к = 2200$ *кг*, згідно [31] та маси насіння в бункері. Масу насіння бункері також приймаємо $m_н = 1000$ *кг*.

Визначимо опір сошників, занурених у ґрунт, приймаючи опір одного сошника $p_{сш} = 150$ *Н*:

$$R_c = 150 \cdot 48 = 7200 \text{ Н}.$$

Опір висівних апаратів R_a виразимо за допомогою потужності на їх привод: $N_a = 250$ *Вт*, згідно [31]. Складова R_m тут відсутня, оскільки дана сівалка має електричний привод висівних апаратів.

Опір від випадкових поштовхів і ударів визначаємо коефіцієнтом можливого перевантаження $v_ц = 1{,}1 \ldots 1{,}3$.

Приймаючі швидкість руху $V_p \approx 3{,}33$ *м/с* (12 км/год), визначимо крюкову потужність трактора $N_{кр.св}$, необхідну для сівалки з вібродискретними висівними апаратами для подолання її тягового опору:

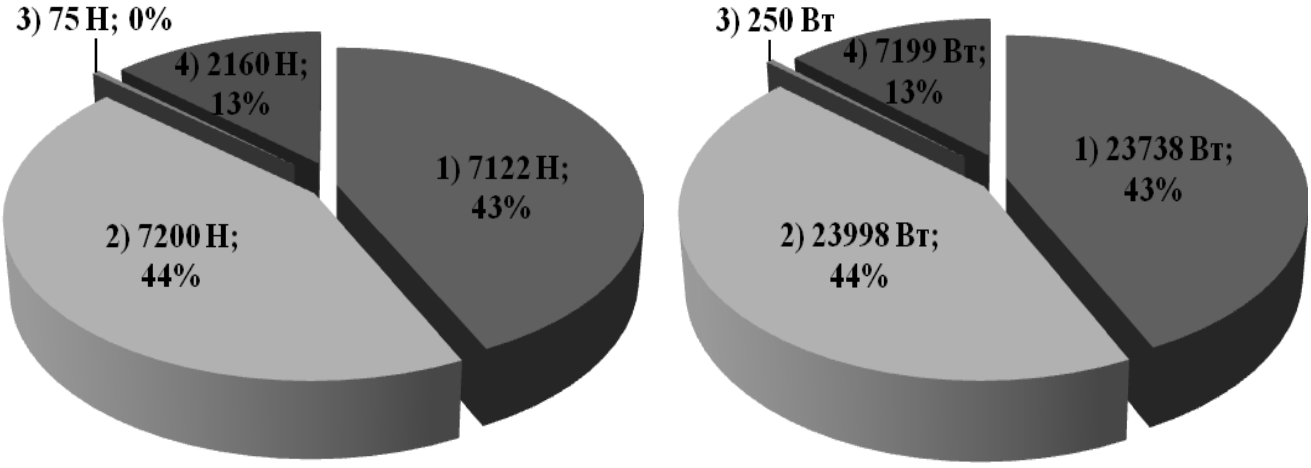
$$N_{кр.св} = 1{,}15\left[(7122 + 7200) \cdot 3{,}33 + 250\right] = 55183 \text{ Вт}.$$

Значення складових крюкової потужності і тягового опору сівалки з вібродискретними висівними апаратами представлені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Значення складових тягового опору R, Н та крюкової потужності $N_{кр}$, Вт, при швидкості руху 3,33 м/с

$R_п$, Н	$R_с$, Н	$R_а + R_т$, Н	$R_{уд}$, Н	$P_с$, Н
1	2	3	4	5
7122	7200	75	2160	16557
$N_п$, Вт	$N_с$, Вт	$N_а$, Вт	$N_{уд}$, Вт	$N_{кр.св}$, Вт
23738	23998	250	7199	55183

Баланс потужності для сівалки з вібродискретними висівними апаратами на основі даних табл. 6.4., представлений на рис. 6.3.



а *б*

1 – опір перекочуванню; *2* – опір сошників; *3* – опір висівних апаратів; *4* – опір від поштовхів і ударів

Рисунок 6.3 – Баланс складових тягового опору (*а*) та крюкової потужності (*б*) для зернових сівалок з вібродискретними висівними апаратами (*джерело: розроблено автором*)

Сумарні витрати потужності для посівного агрегату з сівалкою з вібродискретними висівними апаратами та з урахуванням тягового ККД ($\eta_{тяг}$ = 0,55), приведені до ефективної потужності двигуна, складуть:

$$N_{св} = N_e = \frac{55183}{0,55} = 100333\,(Вт) = 100,3\,кВт.$$

Енергоємність сівалки з вібродискретними висівними апаратами:

$$E_{св} = \frac{100333}{6} = 16722\,(Вт/м) \approx 16,7\,кВт/м.$$

Розрахунковий питомий тяговий опір сівалки Клен-6:

$$p_{пит.р} = \frac{16557}{6} = 2760\,(Н/м) \approx 2,76\,кН/м.$$

Виходячи з розрахунків, можна зробити висновок, що в структурі балансу потужності сівалок з вібродискретними апаратами також істотні потужність і опір

перекочуванню, що досягають 43%. Це відбувається внаслідок високої матеріаломісткості сівалки, через застосування шеренгової моноблочної компонувальної схеми в її конструкції. Потужність для приводу вібродискретної висівної системи незначна і складає менше 1%. Отже, актуальною проблемою є зниження матеріаломісткості сівалки, яка становить $m_{пит}$ = 366,7 кг/м і перевищує рекомендоване значення, рівне 250…300 кг/м.

Щодо енергоємності сівалок з вібродискретними висівними апаратами необхідно зазначити, що отримане значення енергоємності $E_{св} = 16,7$ *кВт/м* перевищує рекомендоване 10…15 кВт/м.

Посівні машини з висівними системами на основі елементів пневмоніки і струминної техніки. Показники енергоємності визначимо для 48-рядної сівалки з роздільно-агрегатною компонувальною схемою типу Solitair 9/600KA або MaterMacc MSD-600, обладнаною висівними апаратами з елементами пневмоніки, а також наступними характеристиками: конструктивна маса $m_к = 1430$ *кг*, ширина захвату $B = 6$ *м*, матеріаломісткість $m_{пит} = 238,3$ *кг/м*.

Середній опір перекочуванню дорівнює:

$$R_n = 0,22 \cdot 23838 = 5244 \text{ Н},$$

де $G_c = 2430 \cdot 9,81 = 23838$ *Н* – експлуатаційна вага сівалки.

Експлуатаційна маса m_e пропонованої сівалки дорівнює сумі конструктивної маси сівалки $m_к = 1430$ *кг* і масі насіння в бункері (1000 кг).

Опір сошників, занурених у ґрунт, становить:

$$R_c = 150 \cdot 48 = 7200 \text{ Н}.$$

Опір висівної системи з елементами пневмоніки R_a виразимо за допомогою потужності на привод N_n.

При цьому потужність для роботи одного апарату з насіннєпроводом у середньому становить 8 Вт, згідно [4, 22, 24, 25] та розділу 2. Отже, для числа апаратів $n_a = 48$, потужність складе $N_n = 384$ *Вт*.

Приймаючи швидкість руху $V_p \approx 3{,}33$ *м/с* (12 км/год), знайдемо крюкову потужність $N_{кр.еп}$ для сівалки з висівною системою на основі елементів пневмоніки:

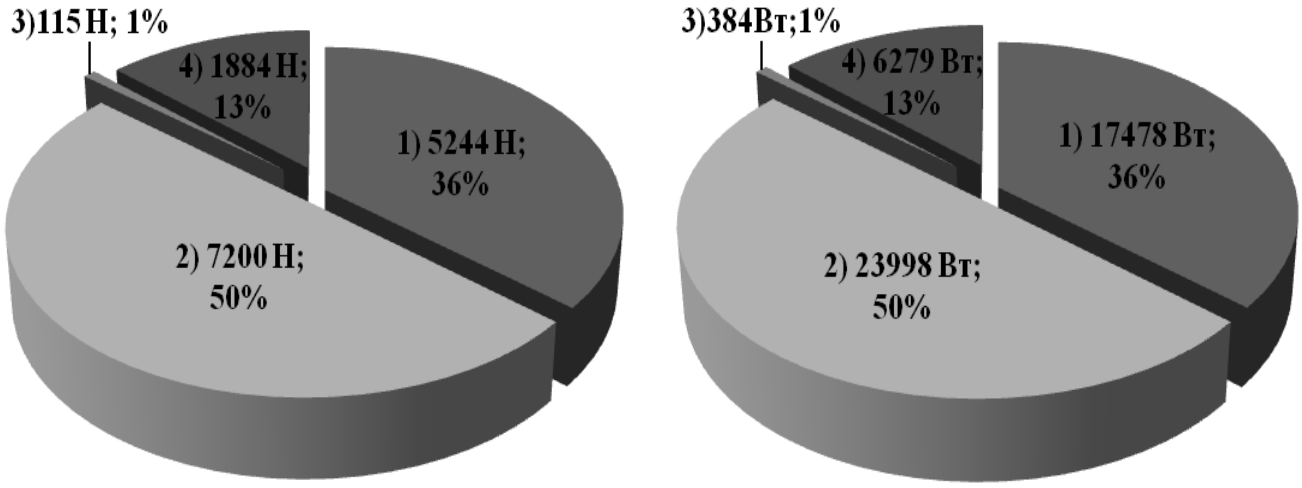
$$N_{кр.еп} = 1{,}15\left[(5244 + 7200) \cdot 3{,}33 + 384\right] = 48139 \text{ Вт}.$$

Значення крюкової потужності і тягового опору сівалки з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки, представлені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Значення складових тягового опору R, Н і крюкової потужності $N_{кр}$, Вт, при швидкості руху 3,33 м/с

$R_п$, Н	$R_с$, Н	$R_а + R_т$, Н	$R_{уд}$, Н	$P_с$, Н
1	2	3	4	5
5244	7200	115	1884	14443
$N_п$, Вт	$N_с$, Вт	$N_а + N_{тр}$, Вт	$N_{уд}$, Вт	$N_{кр.еп}$, Вт
17478	23998	384	6279	48139

Баланс потужності для сівалки з висівними апаратами з елементами пневмоніки, на основі даних табл. 6.5, представлений на рис. 6.4.



а *б*

1 – опір перекочуванню; *2* – опір сошників; *3* – опір висівних апаратів; *4* – опір від поштовхів і ударів

Рисунок 6.4 – Баланс складових тягового опору (*а*) та крюкової потужності (*б*) для сівалок з висівною системи на основі елементів пневмоніки

(*джерело: розроблено автором*)

Сумарні витрати потужності для сівалки з висівною системою на основі елементів пневмоніки, з урахуванням тягового ККД ($\eta_{тяг}$ = 0,55) і ККД приводу джерела тиску ($\eta_{пм}$ = 0,9) становитимуть:

$$N_{с.еп} = \frac{1,15(5244+7200)\cdot 3,33}{0,55} + \frac{384}{0,9} = 87149\ Вт.$$

Енергоємність сівалки з апаратами з елементами пневмоніки дорівнює:

$$E_{с.еп} = \frac{N_{сэп}}{B} = \frac{87149}{6} = 14525(Вт) \approx 14,5\ кВт.$$

У структурі балансу потужності сівалок з висівними системами на основі елементів пневмоніки найбільшу питому вагу має потужність на подолання опору сошників, яка досягає 42%. Потужність для роботи висівної системи становить менше 1% від загальної потужності.

Енергоємність сівалки з апаратами з елементами пневмоніки $E_{с.еп}$=14,5кВт/м не перевищує рекомендоване значення, рівне 10…15 кВт/м.

Розрахунковий питомий тяговий опір сівалки з висівної системою з елементами пневмоніки:

$$p_{пит.р} = \frac{P_C}{B} = \frac{14443}{6} = 2407(Н/м) \approx 2,41\ кН/м.$$

6.2 Оцінка коефіцієнта корисної дії висівних апаратів для зернових сівалок та питомої енергоємності роботи висівних пристроїв

Крім питомої енергоємності роботи зернових сівалок, основними показниками ефективності використання енергії в висівних апаратах і системах, згідно [38] можуть бути коефіцієнти:

- корисної дії;
- корисного використання енергії, що визначає технічний рівень машин і пристроїв;

- корисного використання енергії за окремими видами та параметрів енергоносіїв, в даному випадку по паливу для двигунів.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) котушкової висівної системи визначимо за даними, представленими в п. 6.1.1. Корисна потужність котушкового висівного апарата для однієї котушки становить $N_к$ = 14,8 Вт. З урахуванням ККД приводу котушкового висівного апарату $\eta_п \approx 0{,}85$ (варіатор і ланцюгова передача для сівалки Astra-6) отримаємо потужність, підведену до однієї котушки $N_п$ = 17,5 Вт. Тоді ККД котушкової висівної системи дорівнює:

$$\eta_{кс} = N_к / N_{пк}. \tag{6.13}$$

Підставивши чисельні значення складових, отримаємо $\eta_{кс}$ = 0,84.

Для сівалки, обладнаної ПЦВС, з B = 6 м і $n_с$ = 48 потужність, необхідна для роботи висівної системи, становить $N_п$ = 8460 Вт та є підведеною потужністю. Отже, підведена питома потужність на один вихід в сошник складе $N_{пс}$ = *176 Вт*.

Щоб визначити корисну потужність $N_{кор}$, необхідно врахувати ККД вентилятора ($\eta_в$ = 0,75) і гідравлічні втрати в системі. Однак для наближених обчислень обмежимося урахуванням втрат у вентиляторі, не враховуючи ККД ежектора, незважаючи на те, що він значно підвищує енергоємність висіву. Тоді ККД ПЦВС приблизно дорівнює ККД вентилятора в системі $\eta_{ПЦВС} = \eta_в$ = *0,75*.

У вібродискретних висівних системах ККД визначається роботою джерела живлення (тракторного генератора з ККД $\eta_г \approx 0{,}9$) і роботою крокового електродвигуна з ККД $\eta_{кд} \approx 0{,}7$. ККД вібродискретної висівної системи в цілому складає:

$$\eta_{ввс} = \eta_г \cdot \eta_{кд}. \tag{6.14}$$

Підставивши чисельні значення складових, отримаємо $\eta_{ввс}$ = 0,63.

Для висівних систем з елементами пневмоніки, з урахуванням втрат потужності в вентиляторі ($\eta_в$ = 0,75) і ККД елементів пневмоніки, а також вихрових клапанів по тиску ($\eta_{епт}$ = 0,3...0,5), згідно з розділом 2, а також з [13, 16], ККД висівного апарата з елементами пневмоніки дорівнює:

$$\eta_{en} = \eta_{в} \cdot \eta_{enm}. \quad (6.15)$$

Підставивши чисельні значення складових, отримаємо $\eta_{вп}$ = 0,37.

Аналізуючи алгоритмічні моделі технологічних процесів існуючих конструкцій висівних апаратів і систем для різних видів посіву можна зробити висновок, що відносно простий процес роботи цих конструкцій вимагає відносно великих витрат енергії, спрямованих на подолання тертя деталей і опору матеріалів, хоча енергії, необхідної для здійснення всіх елементарних операцій процесу висіву, потрібно набагато менше [26].

Розрахуємо питому енергоємність роботи висівних пристроїв у вигляді потужності, що припадає на один вихід в сошник і приведену до джерела енергії, тобто до двигуна трактора, або корисне використання енергії.

Потужність, підведена до котушки $N_{пк}$ = 17,5 Вт, з урахуванням тягового ККД трактора ($\eta_{тяг}$ = 0,55) характеризує питому енергоємність окремої котушки, приведену до джерела енергії і складе $N_{пкп}$ = 32 Вт.

У пневматичної централізованої висівної системи підведена питома потужність на один вихід в сошник дорівнює $N_{пц}$ = 176 Вт. З урахуванням руху потоку потужності від двигуна через ВВП, ККД приводу джерела тиску складе $\eta_{пм}$ = 0,9. Тоді питома енергоємність, приведена до джерела енергії, для ПЦВС складе $N_{пцп}$ = 195 Вт.

Оскільки сумарна потужність для вібродискретної висівної системи з n_c=48 дорівнює 250 Вт, то питома потужність дорівнює 5,2 Вт, а з урахуванням приводу генератора вібродискретної висівної системи від двигуна трактора клинопасовою передачею з ККД $\eta_{пер}$ = 0,93, питома енергоємність приведена до джерела енергії, складе $N_{дп}$ = 5,5 Вт.

Оцінимо питому енергоємність, приведену до джерела енергії, для висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки. Потужність, необхідна для роботи одного висівного апарату в блоці, складає $N_{пп}$ = 8 Вт. При русі потоку потужності від двигуна трактора через ВВП, ККД механічного приводу джерела тиску також складе $\eta_{пм}$ = 0,9. З урахуванням втрат потужності, питома енергоємність складе $N_{пп} \approx 9\ Вт$.

6.3 Оцінка технічного рівня висівних апаратів і систем та коефіцієнта корисного використання енергії по окремому виду енергоносія

Технічний рівень засобів механізації визначають як відношення коефіцієнта корисної дії машини до енергоємності (п. 1.4.3). При цьому, чим вище коефіцієнт корисної дії і чим менше енергоємність, тим вищий технічний рівень засобів механізації. Таким чином, коефіцієнт технічного рівня визначається за формулою:

$$k_{тр} = \frac{\eta_{вс}}{N_{пит.вс}} \cdot 100, \qquad (6.16)$$

де $\eta_{вс}$ – ККД висівної системи, % (п. 6.2);

$N_{пит.вс}$ – питома енергоємність висівного апарата або системи, приведена до джерела енергії (п. 6.2).

Підставивши відповідні значення параметрів висівних систем визначимо, що для котушкового висівного апарату $k_{тр} = 2{,}62\ Вт^{-1}$, для ПЦВС – $k_{тр} = 0{,}38\ Вт^{-1}$, для вібродискретної висівної системи – $k_{тр} = 11{,}4\ Вт^{-1}$, для висівних апаратів з елементами пневмоніки – $k_{тр} = 4{,}1\ Вт^{-1}$.

Виходячи з теплового еквівалента, з одного кілограма дизельного палива можна отримати величину потужності 11,81 кВт×год. Відомо також, що чим більше діючі значення потужностей, тим більші і витрати потужності. Визначимо дійсні витрати потужності при роботі розглянутих висівних апаратів та їх відповідність тепловому еквіваленту при згорянні дизельного палива, згідно [22-24]:

$$N_{д} = \frac{N_{п}}{\eta_{тяг} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{е}},\ кВт, \qquad (6.17)$$

де $N_п$ – потужність, підведена до висівного апарату або системи, Вт;

$\eta_{тяг}$ – тяговий ККД трактора, ґрунтовий фон – поле, підготовлене до сівби (приймаємо $\eta_{тяг} = 0{,}55$);

$\eta_{пер}$ – ККД клинопасових передач на привод вентилятора або генератора (приймаємо $\eta_{пер} = 0{,}95$);

$\eta_{пр}$ – приводний ККД трактора с незалежним ВВП через дві зубчасті передачі (приймаємо $\eta_{пр} = 0{,}94$);

$\eta_е$ – ефективний ККД дизельного ДВЗ (приймаємо $\eta_е = 0{,}4$).

Ефективний ККД дизельного двигуна в розрахунках враховуємо для визначення витрати палива на роботу висівної системи. Приймаючи кількість сошників в зерновий сівалці n_c = 48, визначимо дійсні енерговитрати на роботу висівних апаратів і систем. Коефіцієнт корисного використання енергії по виду і параметрам енергоносія, в даному випадку дизельного палива, визначається як добуток складових загального ККД або як співвідношення підведеної до системи потужності до дійсної потужності:

$$k_{ен} = \eta_{тяг} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{е} = \frac{N_{п}}{N_{д}}. \qquad (6.18)$$

Результати розрахунків представлені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Визначення коефіцієнта корисного використання енергії по виду палива

Вид висівного апарату або системи	Складові загального ККД	Підведена потуж-ність $N_п$, Вт	Дійсна потуж-ність $N_д$, Вт	Паливний еквівалент		Коеф. корисного використ. енергії $k_{ен}$
				кг / год	кг / рік*	
Котушкова	$\eta_{тяг}$, $\eta_{е}$	840	3818	0,32	51,2	0,22
ПЦВС	$\eta_{пер}$, $\eta_{пр}$, $\eta_{е}$	8460	23500	1,99	318,4	0,36
Вібродиск-ретна	$\eta_{пер}$, $\eta_{е}$	250	694	0,06	9,60	0,36
З елементами пневмоніки	$\eta_{пер}$, $\eta_{пр}$, $\eta_{е}$	384	1067	0,09	14,45	0,36

* – при завантаженні 160 годин на рік.

Аналізуючи табл. 6.6, можна зробити висновок, що коефіцієнт корисного використання енергії по виду палива висівними системами зернових сівалок визначається досконалістю каналу передачі потоку потужності від джерела енергії

до висівного апарату або системи, оскільки рух потоку потужності через ґрунтовий фон з недостатньою несучою здатністю викликає його значні втрати. У той же час потік потужності, що надходить відокремлено від ґрунту такого типу, зокрема через механічний привод, передається більш ефективно і з меншими втратами.

6.4 Експлуатаційно-технологічна оцінка посівних агрегатів. Розрахунок приведених витрат на виконання посівних робіт

Ефективність техніки вимірюється тим, наскільки вона сприяє зростанню продуктивності праці і економії витрат. Проте показник продуктивності, незважаючи на його важливість, не може повною мірою оцінити зростання продуктивності сукупної праці при використанні нової техніки, так як в ньому не відображені витрати уречевленої праці [40].

Найбільше поширення при оцінці ефективності техніки отримав і нині діє, згідно із затвердженими типовими методиками, показник мінімуму приведених витрат. Будучи вартісним критерієм, він комплексно враховує експлуатаційні витрати на виробництво і капіталовкладення, з урахуванням їх нормативної ефективності [33, 40, 45].

Тому експлуатаційно-технологічна оцінка посівних агрегатів здійснювалася на основі стандартів та затверджених типових методик [18, 19], рекомендацій [14], і з урахуванням особливостей роботи зернових сівалок.

Проте показник мінімуму приведених витрат є вартісним і зазвичай оцінюється в грошовому еквіваленті. В сучасних умовах цього недостатньо, через те, що цей критерій має істотні, не завжди необґрунтовані коливання і визначається політикою ціноутворення.

В даний час пропонуються методи розрахунку повних та приведених витрат в енергетичному, універсальному вираженні [15, 29, 30, 44, 46].

При розрахунку приведених витрат кожен показник представляється у вигляді його енергетичного вмісту, отриманого множенням на відповідний енергетичний еквівалент. Перевага енергетичної оцінки перед грошовою в тому, що в першому випадку оцінка більш об'єктивна через відсутність впливу

коливань цін, пов'язаних з ситуацією в економіці або відповідною політикою ціноутворення і відсутність надбавок, наприклад на торговельну марку, згідно [30]. До того ж, за енергетичною оцінкою простіше і природніше судити про ефективність технологій або машин.

6.4.1 Вибір вихідних даних для експлуатаційно-технологічної оцінки посівних агрегатів

Нормативи, технічні та експлуатаційно-технологічні параметри в сукупності являють собою вихідні дані для експлуатаційно-технологічної оцінки.

В якості аналога і бази для порівняння приймаємо наступні посівні машини: Astra-6 з котушковими висівними апаратами, Solitair 9/600KA з пневматичною централізованою висівної системою, Клен-6 з вібродискретною висівною системою і пропоновану, з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки та компонувальною схемою сівалки типу MaterMacc MSD-600. Всі машини мають ширину захвату B = 6 м. Робочу швидкість руху V_p приймаємо 12 км/год, або 3,33 м/с.

Враховуючи, що ціна є функцією маси машини, то для оцінки сівалок можна приймати за основу її масу [5]. Тому вартість машин, згідно з прийнятою методикою, приймаємо виходячи з енергетичного еквівалента маси сільськогосподарської машини, що становить 116,1 МДж/кг, відповідно [20], тобто значення конструкційної маси машини множиться на значення енергетичного еквівалента (табл. 6.7).

Потужність двигуна трактора визначаємо виходячи з сумарних витрат потужності посівних машин, приведених до потужності двигуна і розглянутих у п. 6.1: Astra-6 (конструкційна маса $m_к$ = 2780 кг) – $N_{ск}$ = 100,13 кВт, для Solitair 9/600KA (конструкційна маса $m_к$ = 1430 кг) – $N_{сп}$ = 96,12 кВт, для Клен-6 (конструкційна маса $m_к$ = 2200 кг) – $N_{св}$ = 100,3 кВт, для пропонованої струминної висівної системи (СВС) на основі сівалки MaterMacc MSD-600 (конструкційна маса $m_к$ = 1430 кг) – $N_{сеп}$ = 87,15 кВт.

Виходячи з цього, вибираємо марки тракторів: для сівалок Astra-6 і Клен-6 – трактор Беларус-1523 з конструкційною масою $m_{тр}$ = 5700 кг, номінальною потужністю двигуна N_e = 114 кВт і питомою витратою палива g = 227 г/кВт×год. Для сівалок Solitair 9/600КА та з СВС – трактор Беларус-1221.2 з конструкційною масою $m_{тр}$ = 5080 кг, номінальною потужністю двигуна N_e = 98 кВт і питомою витратою палива g = 226 г/кВт×год.

Вартість тракторів, згідно з прийнятою методикою, приймаємо виходячи з енергетичного еквівалента маси тракторів, що становить 142,2 МДж/кг, відповідно [20]. При цьому значення конструкційної маси трактора множиться на значення енергетичного еквівалента (табл. 6.7). Коефіцієнт використання потужності двигуна трактора рівний:

$$k_{пд} = \frac{N_c}{N_e}, \tag{6.19}$$

де N_c – потужність для сівалки, приведена до потужності двигуна трактора.

Годинна витрата палива, згідно [2], визначається за формулою:

$$Q_m = g_e k_{пд}(1+\nu)\tau_e N_e, \ кг/год, \tag{6.20}$$

де $\nu = 0{,}03...0{,}08$ – коефіцієнт, враховуючий витрату палива при русі агрегату на поворотах і холостих переїздах. Приймаємо $\nu = 0{,}06$;

$\tau_в = 0{,}7...0{,}8$ – коефіцієнт використання експлуатаційного часу [9]. Приймаємо $\tau_в = 0{,}75$.

Теоретична продуктивність агрегатів за годину основного часу W_m:

$$W_m = 0{,}1BV_p, га/год, \tag{6.21}$$

Дійсна продуктивність агрегатів за годину експлуатаційного часу $W_д$:

$$W_д = 0{,}1BV_p\tau_в, га/год, \tag{6.22}$$

Отримані показники, вихідні та довідкові дані представлені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7 – Вихідні дані для розрахунку приведених витрат на виконання посівних робіт

№	Показники	Од. вим.	Варіант посівного агрегату			
			Енергетичний засіб			
			Беларус-1523		Беларус-1221.2	
			Посівна машина			
			Astra-6	Клен-6	Solitair 9/600KA	СВС
1	2	3	4	5	6	7
1	Енергоеквівалент: - тракторів - посівних машин	МДж	810540 322758	810540 255420	722376 166023	722376 166023
2	Коефіцієнт використання потужності двигуна трактора	–	0,88	0,88	0,98	0,89
3	Теоретична продуктивність	га / год	7,2			
4	Дійсна продуктивність	га / год	5,4			
5	Дійсна продуктивність за час зміни тривалістю 8 годин	га / зм	43,2			
6	Річне завантаження [6]: - тракторів - посівних машин	год	1800 160			
7	Річний обсяг робіт	га	864			
8	Кількість нормо–змін в обсязі робіт	н.-зм.	20			

Продовження таблиці 6.7

1	2	3	4	5	6	7
9	Амортизаційні відрахування [6]: - на трактор - на посівні машини	%	15 12,5			
10	Відрахування на ТО и ПР [6]: - на трактор - на посівні машини	%	9,9 7,0			
11	Обслуговуючий персонал	чол	1			
12	Годинна витрата пального	кг / год	18,1	18,1	17,2	15,7
13	Витрата пального на одиницю роботи	кг / га	3,35	3,35	3,18	2,91
14	Витрата пального на річний обсяг робіт	кг	2894	2894	2748	2514
15	Енергоеквівалент кілограма палива	МДж	42,5			
16	Витрати на паливо на одиницю роботи	МДж /га	142,4	142,4	135,2	132,7
17	Енергоеквівалент трудових витрат, 60…152 МДж/чол×год [11, 15, 46]	МДж /чол. ×год	106			
18	Витрати на заробітну платню на одиницю роботи	МДж / га	19,6			

Зазначимо, що в табл. 6.7 рядок 7 отриманий множенням річного завантаження сівалок на їх дійсну годинну продуктивність; рядок 8 отриманий діленням річного обсягу робіт на річне завантаження посівних машин; рядок 13 отриманий діленням рядка 12 на дійсну годинну продуктивність сівалок; рядок 14 отриманий множенням рядка 13 на річний обсяг робіт; рядок 16 отриманий множенням витрати палива на одиницю роботи на енергетичний еквівалент кілограма палива; рядок 18 отриманий діленням рядка 17 на дійсну годинну продуктивність посівних машин.

6.4.2 Розрахунок економічних показників

Одним з основних критеріїв техніко-економічної ефективності механізованого обробітку є собівартість механізованих робіт, зокрема посівних. Серед інших витрат, вона включає в себе прямі експлуатаційні витрати [18]. Розрахунок експлуатаційних витрат проведемо з урахуванням методики, наведеної в роботі [30], де вони визначаються на основі енергетичних еквівалентів, а також з урахуванням рекомендацій, представлених в літературі [20, 44, 46, 48].

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи розраховуємо для кожного з порівнюваних агрегатів, за формулою:

$$C = C_{ПММ.} + C_{зп} + C_{ам} + C_{пр}\ ,\ МДж/га \qquad (6.23)$$

де $C_{ПММ.}$ – витрати на паливо на одиницю роботи, МДж/га (табл. 6.7);

$C_{зп}$ – витрати на заробітну платню за одиницю роботи, МДж/га.

$C_{ам.}$ – амортизаційні відрахування, МДж/га. Визначаються за формулою:

$$C_{ам} = \frac{E_e \cdot a}{100 \cdot W_д \cdot t},\ МДж/га, \qquad (6.24)$$

де E_e – енергетичний еквівалент тракторів або посівних машин;

a – річна норма (процент) амортизаційних відрахувань;

t – річне завантаження, годин.

Аналогічно визначаємо розмір витрат на поточний ремонт (ПР) і технічне обслуговування (ТО) $C_{пр}$, з урахуванням норм відрахувань на ТО і ПР. Наведені витрати в розрахунку на агрегат визначимо за формулою:

$$П_в = С + k_н \cdot К_{пит}, \text{ МДж/га}, \quad (6.25)$$

де $k_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($k_н$ = 0,15);

$К_{пит}$ – питомі капіталовкладення, МДж/га. Визначаються як сума енергетичних еквівалентів по тракторам та машинам по варіантам, віднесені до річного обсягу робіт.

Враховуючи наведені показники, значення яких представлені в табл. 6.7, річний економічний ефект приведених витрат $E_{пв}$ дорівнює:

$$E_{пв} = \Delta П_В \cdot \Theta, \quad (6.26)$$

де $\Delta П_В$ – різниця приведених витрат по максимальному та іншим варіантам;

$\Theta = 864$ *га* – річний обсяг робіт.

Результати розрахунків представлені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Експлуатаційно-технологічна оцінка варіантів посівних МТА на сівбі зернових культур

№	Показники	Од. вим.	Варіант посівного агрегату			
			Енергетичний засіб			
			Беларус-1523		Беларус-1523	
			Посівна машина			
			Astra–6	Клен–6	Solitair 9/600KA	СВС
1	2	3	4	5	6	7
1	Енергетичн. еквівалент: - тракторів - посівних машин	МДж	810540 322758	810540 255420	722376 166023	722376 166023
2	Теоретична продуктивність	га / год	7,2			

Продовження таблиці 6.8

1	2	3	4	5	6	7
3	Дійсна продуктивність	га / год	5,4			
4	Змінна продуктивність	га / зм	43,2			
5	Річний обсяг робіт	га	864			
6	Кількість нормо-змін в обсязі робіт	н.-зм.	20			
7	Амортизаційні відрахування	МДж / га	59,2	49,5	35,2	35,2
8	Відрахування на ТО і ПР	МДж / га	34,4	28,9	20,8	20,8
9	Годинна витрата палива	кг / год	18,1	18,1	17,2	15,7
10	Витрата палива на одиницю роботи	кг / га	3,35	3,35	3,18	2,91
11	Витрата палива на річний обсяг робіт	кг	2894	2894	2748	2514
12	Витрати на паливо на одиницю роботи	МДж / га	142,4	142,4	135,2	132,7
13	Витрати на заробітну платню на одиницю роботи	МДж / га	19,6			
14	Прямі експлуатаційні витрати	МДж / га	255,6	240,4	210,8	199,3
15	Питомі капіталовкладення	МДж / га	1312	1234	1028	1028

Продовження таблиці 6.8

1	2	3	4	5	6	7
16	Приведені витрати	МДж / га	452,4	425,5	365,0	353,5
17	Економія приведених витрат у порівнянні з максимальним значенням	%	–	6,0	19,0	22,0
18	Річний економічний ефект приведених витрат	МДж	–	23242	75514	85450

При аналізі табл. 6.8 встановлено, що із застосуванням запропонованої сівалки можна досягти економії приведених витрат до 16% у порівнянні з іншими машинами. Таким чином, за багатьма показниками запропонований варіант посівної машини з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки більш ефективний, ніж інші.

6.4.3 Порівняння і вибір переважних показників ефективності конструкцій і роботи висівних систем і посівних машин

Інформацію про порівняння і вибір переважних показників подамо в табличній формі (табл. 6.9).

Таблиця 6.9 – Порівняння і вибір переважних показників посівних машин і висівних систем

№	Показники	Од. вим.	Варіант посівного агрегату			
			Енергетичний засіб			
			Беларус-1523		Беларус-1523	
			Посівна машина			
			Astra-6	Клен-6	Solitair 9/600KA	СВС
1	2	3	4	5	6	7
Конструкційні показники						

Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6	7
1	Принцип дії	–	Механ. котушкова	Електровібраційна	Пневмоцентралізована	Пневмоструминна
2	Тип висівного апарату або системи	–	аналогова	дискретна	аналогова	дискретна
3	Коефіцієнт корисної дії висівної системи	–	0,84	0,75	0,63	0,37
4	Питома енергоємність висівного апарату або системи	Вт	32,0	5,5	195,0	9,0
5	Коефіцієнт технічного рівня	$Вт^{-1}$	2,62	11,4	0,38	4,10
6	Енергоємність сівалки	кВт/м	16,7	16,7	16,0	14,5
7	Питомий тяговий опір сівалки	кН/м	2,75	2,76	2,67	2,41
8	Конструкційна маса сівалки	кг	2780	2200	1430	1430
9	Коефіцієнт корисного використання енергії по виду палива висівною системою	–	0,22	0,36		
10	Теоретична питома продуктивність	га / год×м	1,20			
11	Комплексний критерій ефективності, порівняльна ефективність сівалки	кг / с×м	2,29	2,30	2,22	2,00

Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6	7
Експлуатаційно-технологічні показники						
1	Годинна витрата палива	кг/год	18,1	18,1	17,2	15,7
2	Витрата палива на одиницю роботи	кг/га	3,35	3,35	3,18	2,91
3	Прямі експлуатаційні витрати	МДж / га	255,6	240,4	210,8	199,3
4	Приведені витрати	МДж / га	452,4	425,5	365,0	353,5
5	Річний економічний ефект приведених витрат	МДж	–	23242	75514	85450

Таким чином, результати порівняльного аналізу конструкційних і експлуатаційних показників свідчать, що зернові сівалки з пневматичними висівними апаратами та системами дискретної дії на основі елементів пневмоніки мають перевагу за багатьма показниками.

6.5 Рекомендації виробництву щодо вдосконалення засобів механізації сівби зернових культур

Результати теоретичних і експериментальних досліджень дали можливість робити наступні рекомендації.

1. Зернові сівалки з механічними котушковими висівними апаратами. Дослідження ефективності застосування зернових сівалок з котушковими висівними апаратами показують, що можливості принципу дії посівних машин такого типу практично вичерпані, оскільки досягнуті максимальні значення показників, відповідних даному принципу дії і можна зробити обґрунтований висновок про необхідність переходу на нові принципи дії висівних систем.

Для підвищення ефективності посівних машин такого типу можна запропонувати наступні рекомендації. Ефективність робочого процесу висівної системи в агрегаті посівної машини з енергетичним засобом характеризується, серед інших показників, коефіцієнтом корисного використання енергії по виду енергоносія, який мінімальний у котушкових висівних апаратів, у зв'язку з їх приводом від тягового зусилля трактора на ґрунтовому фоні з недостатньою несучою здатністю. Тому необхідна передача потоку потужності до висівного апарату або системи, минаючи ґрунтовий фон.

За наявності пристрою синхронізації висіву зі швидкістю переміщення для приводу висівної системи від незалежного ВВП трактора або електродвигуна, втрати енергії на привод висівних апаратів механічної сівалки складуть близько 18% на відміну від 53% у випадку приводу від опорних коліс. Якщо застосувати привод коліс посівної машини від ВВП трактора або електродвигуна, то також знизиться буксування енергетичного засобу і ковзання коліс сівалки, підвищиться тяговий ККД.

Як відомо, витрати, пов'язані з тяговим ККД трактора на сівбі можна знизити, якщо застосовувати навісні машини, довантажуючи ходову частину трактора. Відомо також, що краще застосовувати на сівбі гусеничні трактори, тяговий ККД яких в середньому на 10% вище, ніж у колісних тракторів. Тому на сівбі зернових культур можна здійснити ряд заходів конструктивно-експлуатаційного плану, тобто застосовувати гусеничний трактор з начіпною сівалкою і приводом висівних апаратів від ВВП або електродвигуна.

2. Зернові сівалки з пневматичними централізованими висівними системами. Щодо енерговитрат, пневматичні централізовані висівні системи є найбільш енергоємними, у зв'язку з особливостями їх робочого процесу, оскільки закладений принцип дії ("ефект фонтану") приводить до підвищених витрат енергії та потужності. Для забезпечення висіву по сошниках необхідно підняти насіння, долаючи гравітацію і турбулізувати, тобто штучно створити підвищений гідравлічний опір і подолати його. Лише подолання гравітації підвищує енергоємність роботи висівної системи в 2...3 рази. Тому технічний рівень таких

систем є найнижчим, що свідчить про актуальність досліджень у напрямку зниження енергоємності робочого процесу ПЦВС. При цьому необхідні: удосконалення проточних частин пневмотракту, автоматизація робочого процесу та оптимізація режимів роботи, в залежності від умов сівби і механіко-технологічних властивостей посівного матеріалу.

3. Автоматизація та інформатизація процесу висіву. Дискретний принцип дії висівних апаратів і систем дозволяє ефективніше здійснювати автоматизацію робочого процесу і роботу посівних машин у СТІЗ, на відміну від аналогового принципу дії інших висівних апаратів і систем.

Більшість існуючих технічних засобів автоматизації і управління нормою висіву є структурно надлишковими, з негативним показником функціонально-структурної інтеграції (I^{FS} = - 0,625). Наявність надлишкових блоків та інтерфейсів призводить до зниження надійності і точності технічних систем, погіршення їх масогабаритних і вартісних показників.

Подолання виникаючих труднощів можливе на основі мехатронного підходу до дослідження і реалізації засобів автоматизації висіву. Суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і складових будь-якої системи в інтегровані модулі. При цьому показник функціонально-структурної інтеграції приймає позитивні значення (I^{FS} = 0,167). Також у структурній моделі управління процесом висіву з мехатронним модулем розподіл функціонального навантаження є більш рівномірним, з показником РФН I_g = 33,3, на відміну від вихідної структурної моделі, в якій показник РФН I_g = 12,5.

Реалізацію програмно-апаратної платформи для автоматизації та регулювання норми висіву при мехатронному підході необхідно здійснювати на базі структурних рішень, що відкриті для розвитку і мають ієрархічну структуру, зокрема на базі платформи Arduino, а також на базі поширених мобільних обчислювальних пристроїв. В даний час, у зв'язку зі значним прогресом апаратно-програмного забезпечення, побудова архітектури систем автоматизації для посівних машин та інших засобів механізації можлива на основі комплектування окремих функціональних мехатронних модулів в мехатронні системи більш

складних рівнів під конкретні завдання, на основі розподіленої системи управління.

4. Дослідження, розробка та конструювання машин для посіву зернових культур. Існує два напрями розвитку посівних та інших машин – екстенсивний та інтенсивний. Екстенсивний розвиток характеризує кількісний підхід. В даному випадку це збільшення ширини захвату зернових сівалок. Цей захід не передбачає заміну існуючих видів і сімейств посівних машин і здійснюється на основі непропорційного зростання вартісних і матеріальних витрат, з низьким коефіцієнтом інноваційності. Тим не менш, екстенсивний розвиток дає позитивний ефект поліпшення деяких показників ефективності там, де має місце марнотратне використання енергоресурсів. Однак довільне збільшення розмірів зернових сівалок призводить до непропорційного збільшення їх маси, нестійкого режиму роботи, зростання питомого тягового опору і незначного підвищення продуктивності.

Більшого ефекту дозволяє досягти інтенсивний напрямок розвитку, який передбачає якісний підхід. Реалізація інтенсивного розвитку здійснюється на основі сукупності таких заходів:

- дослідження, розробка і впровадження перспективних моделей посівних машин, висівних апаратів і систем нового покоління;
- підвищення робочих швидкостей посіву, що є інтегральним результатом прогресивної інженерно-технічної думки в даній області, об'єднаної з високою організацією проведення посівних робіт і досконалістю технологій обробітку сільськогосподарських культур. Встановлено, що у разі підвищення швидкості руху питомий тяговий опір зернових сівалок зростає менш інтенсивно, ніж при збільшенні ширини захвату.

З цією метою, для перспективних зернових сівалок пропонується застосування компонувальної схеми групового висіву з малоенергоємними висівними апаратами вепольного дискретного принципу дії.

В результаті дослідження висівних систем встановлено, що одним з напрямків підвищення ефективності технологічного процесу висіву є його принципова структурна зміна на основі застосування силових і управляючих

елементів пневмоніки і дискретного принципу дії дозуючих елементів або висівних апаратів, пов'язаних гнучкою дискретною синхронізацією з переміщенням посівної машини. Раціональною основою процесу роботи висівних апаратів і систем також є пневматична система живлення, що дозволяє здійснювати пневмотранспорт вихідного потоку насіння в сошник і на дно борозни.

Зважаючи на те, що висівні апарати вепольного вібродискретного принципу дії не можуть бути застосовані в компонувальних схемах з груповим висівом через труднощі з подачею насіння по насіннєпроводах при значних кутах їх нахилу, отже, перспективним тут є застосування вепольних дискретних висівних апаратів з елементами пневмоніки. Зернові сівалки з такими висівними апаратами при інших рівних умовах мають більш низьку (на 13%) енергоємність робочого процесу, в порівнянні з іншими видами сівалок.

Таким чином, значення питомої енергоємності роботи зернової сівалки при швидкості руху15 км/год (E_c = 18,9 кВт/м) можливо знизити на 13%, або на 2,3кВт/м, що дасть у результаті E_c = 16,6 кВт/м або економію потужності двигуна в 8,3 кВт при ширині захвату 3,6 м, або економію тягової потужності приблизно 17 кВт при тяговому ККД η_m = 0,3, який можливо підвищити з η_m = 0,3 до η_m = 0,5 шляхом поліпшення тягово-зчіпних властивостей трактора.

Із застосуванням зернових сівалок з роздільно-агрегатною компонувальною схемою групового висіву і висівними апаратами на основі нових механіко-технологічних принципів можна вважати енергетично обґрунтованим підвищення робочих швидкостей руху на сівбі, без суттєвого приросту питомої енергоємності робочого процесу.

5. Машиновикористання. Для отримання повної віддачі від техніки необхідно більш широко застосовувати прогнозування та відповідне програмне забезпечення для прийняття рішень відносно вибору і використання засобів механізації для проведення посівних та інших механізованих робіт. Еволюційні обчислення на основі генетичних алгоритмів дозволяють ефективно прогнозувати темпоральну динаміку показників, що характеризують конструкції та робочий процес зернових сівалок, їх висівних апаратів і систем. В результаті з'являється

можливість здійснювати оцінку і відбір найбільш ефективних машин для реалізації відповідних технологій. У порівнянні з традиційними технічними засобами механізації сівби це забезпечує зниження матеріальних, вартісних і енергетичних витрат на 10...15%.

Порівняння ефективності застосування зернових сівалок рекомендується проводити на основі комплексного критерію ефективності, який представляє собою співвідношення витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до показника питомої годинної продуктивності, тобто p_{num}/W_{num}, або тягового опору до годинної продуктивності. При цьому значення критерію ефективності посівних машин з котушковими апаратами дорівнює 2,29, з електромагнітними вібродискретними апаратами – 2,30, з пневматичними централізованими висівними системами – 2,22, з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки – 2,0.

Висновки по шостому розділу

1. Показано, що для багатьох типів висівних апаратів і систем порівняльні показники енергоємності їх робочого процесу остаточно не виявлені. Визначено, що при створенні посівних машин головна увага приділяється забезпеченню показників якості технологічного процесу і продуктивності. У той же час, сучасні вимоги щодо оптимізації енергоспоживання вказують на необхідність складання енергобалансу та аналізу енергоємності робочого процесу висівних апаратів і систем, що визначають технічний рівень посівних машин.

2. Встановлено, що відносно простий процес роботи висівних апаратів і систем, особливо пневматичних централізованих, вимагає значних витрат енергії. При цьому потужність для роботи висівної системи сівалок з централізованим висівом становить 15% від загальної потужності. Витрати енергії в поширених висівних апаратах і системах спрямовані на подолання сил тертя, опору матеріалів і середовища, а також пов'язані з принципом дії висівних пристроїв і з передачею потоку потужності до них. Отже, актуальною проблемою тут є

зниження енерговитрат на роботу висівних систем. Загальна енергоємність сівалок з централізованим висівом практично не відрізняється від сівалок з котушковими висівними апаратами.

3. Виявлено, що значення потужності, необхідної для здійснення операцій процесу висіву, гарантованого руйнування зв'язків між насінням, їх захвату і переміщення, можуть бути на порядок менше, що доводить застосування вібродискретних висівних систем і апаратів з елементами пневмоніки, тобто застосування вепольних дискретних багатоструминних висівних пристроїв.

4. Визначено, що в структурі балансу потужності сівалок з вібродискретними апаратами істотними є потужність і опір перекочуванню, що досягають 43%. Показано, що це має місце внаслідок високої матеріаломісткості сівалки, через її шеренгову моноблочну компонувальну схему, незважаючи на високий технічний рівень висівних апаратів. Потужність для роботи вібродискретної висівної системи незначна і складає менше 1% від загальної потужності. Отже, актуальною проблемою є зниження матеріаломісткості таких сівалок, яка перевищує рекомендоване значення 250...300 кг/м.

5. Виявлено, що в структурі балансу потужності сівалок з пневматичними висівними системами дискретної дії на основі елементів пневмоніки найбільша питома вага припадає на потужність для подолання опору сошників, що досягає 42%. Потужність для висівної системи становить менше 1%.

6. Показана раціональність поєднання роздільно-агрегатної компонувальної схеми групового висіву, яка притаманна сівалкам з пневматичним централізованим висівом, з пневматичними висівними апаратами та системами дискретної дії на основі елементів пневмоніки. Це дозволяє підвищити ефективність використання зернових сівалок та проведення посівних робіт, а також економити експлуатаційні і приведені витрати у розмірі до 16% в порівнянні з іншими варіантами посівних машин, висівних апаратів і систем.

7. Встановлено, що використання посівних машин на основі пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії дозволяє зменшити енергоємність сівалок в середньому на 13% та знизити тяговий опір сівалок в середньому на 12%.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему підвищення ефективності роботи зернових сівалок на основі застосування пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки, із забезпеченням автоматизованого управління їх робочим процесом.

1. На основі аналізу стану проблеми встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається системою комплексів показників ефективності, в якій можна виділити чотири взаємопов'язані підсистеми: *C* – витрат коштів; *Q* – якості висіву; *T* – техніко-експлуатаційного рівня сівалок; *A* – автоматизації та інформатизації робочого процесу. Обґрунтовано, що загальною методологічною основою їх покращення є системний підхід та його методи – системний аналіз і синтез, при розробці та прийнятті найбільш раціональних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи зернових сівалок.

2. З використанням еволюційних обчислень на основі генетичних алгоритмів показано, що закономірність зміни динаміки показників ефективності зернових сівалок з традиційними висівними системами в даний час можна описати *S*-подібною функцією. Виявлено, що швидкість руху і продуктивність, які визначають інтенсивний характер розвитку зернових сівалок, досягають насичення в певний момент часу, а ширина захвату, маса і матеріалоємність, що визначають екстенсивний характер розвитку зернових сівалок, мають тенденцію до безперервного зростання з непропорційним підвищенням витрат і зниженням ефективності їх застосування.

3. Дослідженнями встановлено тенденцію вепольного напряму розвитку висівних апаратів і систем зернових сівалок та з’ясовано, що у вепольних системах розвиток йде у напрямку переходу від аналогових механічних впливів до дискретних імпульсних і електромагнітних впливів, що дозволило обґрунтувати рішення щодо створення сімейства пневматичних висівних пристроїв дискретної дії, які дають можливість зменшити енергоємність роботи зернових сівалок і більш ефективно здійснювати автоматизацію.

4. На основі встановленої динаміки закономірності зміни показників ефективності роботи зернових сівалок запропоновано і обґрунтовано комплексний критерій ефективності – співвідношення витрат енергії, виражених тяговим опором, до продуктивності, що дозволило доцільність підвищення швидкості роботи зернових сівалок. Фізичний зміст розглянутого критерію полягає в здатності машини долати опір або працювати з максимальною ефективністю, а конструктивно-технологічні рішення, закладені у посівних машинах, можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію. Показано, що цей критерій можна використати і для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки, технічних рішень у засобах механізації, екологічність їх застосування і використовувати як параметричне співвідношення в системах автоматизації для підтримання оптимальних режимів функціонування робочих органів. Виявлено, що оптимальним значенням запропонованого комплексного критерію ефективності є 1,62.

5. Запропоновано мехатронний підхід в удосконаленні засобів автоматизації робочого процесу зернових сівалок. При цьому показник функціонально-структурної інтеграції технічних засобів автоматизації $I^{FS} > 0$, на відміну від існуючих засобів, де $I^{FS} < 0$, що досягається на основі розробки і застосування мехатронних модулів, в яких максимум функціональних перетворень зосереджено в єдиному структурному елементі. Виявлено, що у структурній моделі управління з мехатронним модулем розподіл функціонального навантаження є рівномірним, з показником I_g = 33,3, на відміну від існуючих структурних моделей, в яких показник дорівнює I_g = 12,5. Показано, що реалізацію програмно-апаратної платформи засобів автоматизації при мехатронному підході необхідно здійснювати на базі структурних рішень, що відкриті для розвитку, зокрема на базі платформи Arduino. Це дозволяє більш ефективно реалізувати автоматизацію і інформатизацію робочого процесу зернових сівалок.

6. Встановлено, що ККД струминного силового елемента по тиску дорівнює 38%. В теоретичних дослідженнях передачі механічної енергії плоскими

струменями обґрунтовано, що при описі взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента необхідне аеродинамічне або імітаційне моделювання, у зв'язку з виникненням складних вторинних течій у вигляді зворотних потоків, які пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі струминного елемента.

7. Показано, що картина перемикання струменя в силових струминних елементах, при моделюванні в програмному середовищі ANSYS Fluent, відрізняється від загальноприйнятої картини перемикання, яка існувала раніше і була отримана емпіричним шляхом. Отримані дані дають більш повну та наочну картину процесу перемикання силового струминного елемента. На підставі імітаційного моделювання запропоновано оптимізовану конфігурацію силового струминного елемента для використання у висівних апаратах зернових сівалок.

8. Випробуваннями розробленими пневматичними дискретними висівними пристроями з елементами пневмоніки на рівномірність і нестійкість висіву виявлена їх відповідність агротехнічним вимогам, оскільки у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%. Встановлено, що при висіві насіння з різними фізико-механічними властивостями показники нерівномірності і нестійкості висіву змінюються. При нахилі вихрового розподільника насіння понад 12^0 характеристики рівномірності висіву погіршуються. Поздовжній розподіл посівного матеріалу досліджуваними висівними пристроями показує ідентичні характеристики. При цьому коефіцієнт варіації знаходиться в межах 54...84% для різних видів насіння і конструкцій висівних пристроїв.

9. Визначено, що показник технічного рівня механічних котушкових апаратів складає 2,62, електромагнітних вібродискретних – 11,4, апаратів з елементами пневмоніки – 4,10, а для пневматичних централізованих висівних систем даний показник є мінімальним і становить 0,38. Запропонований

комплексний критерій ефективності роботи посівних машин з котушковими апаратами дорівнює 2,29, з електромагнітними вібродискретними – 2,30, з пневматичними централізованими висівними системами – 2,22, з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки – 2,0. Споживана потужність висівних пристроїв при ширині захвату сівалки 6 м складає для котушкових апаратів – 700Вт, для ПЦВС – 8460 Вт, для електромагнітних вібродискретних – 250 Вт, для апаратів з елементами пневмоніки – 380 Вт.

10. Показано, що конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компонувальною схемою групового висіву і пневматичною дискретною висівною системою на основі елементів пневмоніки дозволяє зменшити матеріалоємність конструкцій, знизити тяговий опір на 12% і енергоємність роботи сівалок в середньому на 13%, до значень 14,5 кВт/м ефективної потужності двигуна енергозасобу, а також економити експлуатаційні і приведені витрати до 16% у порівнянні з іншими варіантами посівних машин, висівних апаратів і систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Список використаних джерел до розділу 1

1. А. с. № 1474881 СССР, А 01 С 7/00. Способ высева сыпучих материалов и устройство для его осуществления / В. Я. Коваль, В. С. Кочетков, И. В. Буйлов и др. (СССР, BG). – № 1026680.
2. Авербух С. Л. Системное описание и моделирование сельскохозяйственного производства / С. Л. Авербух, А. П. Бочаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 1. – С. 3–6.
3. Агафонов К. П. Рабочая скорость и энергетика машинно–тракторного агрегата / К. П. Агафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1979. – № 5. – С. 12–15.
4. Адамчук В. В. Точное земледелие: сущность и технические проблемы / В. В. Адамчук, В. К. Моисеенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 8. – С. 4–7.
5. Александров И. К. Проблемы энергосбережения в сельскохозяйственных машинах и агрегатах / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. 1995. – № 1. – С. 12–14.
6. Александров И. К. Энергетический анализ машинных агрегатов / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – № 3. – С. 2–5.
7. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В.А. Вальков // Достижения Науки и Техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 44–48.
8. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука: Теория решения изобретательских задач / Генрих Саулович Альтшуллер. – М.: Советское радио, 1979. – 176 с.
9. Аніскевич Л. Система точного землеробства: ефективність і веління часу / Л. Аніскевич, Г. Гаврилюк, О. Ямков // Пропозиція. – 2000. – № 6. – С. 96–97.
10. Аніскевич Л. В. Сенсор-технологія в точному землеробстві / Л. В. Аніскевич // Науковий вісник НАУ. – 1998. – Вип. 9. – С. 70–72.

11. Аніскевич Л. В. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів / Л. В. Аніскевич // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – № 196. – С. 264–277.
12. Аніскевич Л. В. Система точного землеробства: [навчальний посібник] / Л. В. Аніскевич, М. О. Свірень, М. М. Коваленко, І. М. Косенко, С. Б. Орищенко. За ред. члена-кореспондента НААН України, д.т.н., проф., Заслуженого діяча науки і техніки України М.І. Черновола. – Кропивницький: видавець Лисенко В. Ф., 2016. – 104 с.
13. Артёмьев В. В. Ультразвуковые виброударные процессы : [монография] / В. В. Артёмьев, В. В. Клубович, В. Н. Сакевич. – Мн.: БНТУ, 2004. – 258 с.
14. Астафьев М. И. Улучшение эксплуатационных показателей тракторов / М. И. Астафьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – №3. – С. 37–40.
15. Астахов В. С. Механико-технологические основы посева сельскохозяйственных культур сеялками с пневматическими системами группового дозирования : дисс. ... доктора технических наук : 05.20.01 / Астахов Василий Сергеевич. – Горки, 2007. – 377 с.
16. Аулин В. В. Конструктивно-компоновочные схемы высевающих систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України, м. Київ. – 2016. – № 1. – С. 142–147.
17. Аулин В. В. Технико–экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами / В. В. Аулин, А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. 2. – С. 7–14.
18. Аулин В. В. Энергетическая концепция развития высевающих систем / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 267–273.
19. Багаев А. А. Проблемы энергоэффективной вибротехнологии / А. А. Багаев, Ю. А. Осокин // Ползуновский альманах. – 2009. – № 2. – С. 149.

20. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1976. – № 5. – С. 4–7.
21. Басин В. С. Анализ факторов, определяющих эффективность широкозахватных сеялок / В. С. Басин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 8. – С. 18–21.
22. Басин В. С. Системный подход к проектированию подвески сошника свекловичной сеялки / В. С. Басин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1977. – № 3. – С. 13–16.
23. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях : [научно–технический обзор] / Т. М. Белавцева. – М.: ФГНУ ЦНТИ Мелиоводинформ, 2009. – 110 с.
24. Беспамятнова Н. М. Управляемый синтез почвообрабатывающих и посевных машин по частотным характеристикам / Н. М. Беспамятнова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 4. – С. 11–13.
25. Бойко А. Проблемы совершенствования и тенденции развития посевной техники / А. Бойко, Н. Свирень, П. Сысолин, Н. Петренко // Техніка АПК. – 2000. – № 11–12. – С. 8–10.
26. Бойко А. І. Модель функціонування пневматичної висівної системи для технологій точного землеробства / А. І. Бойко, М. О. Свірень // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – Вип. 36. – С. 13–18.
27. Бондаренко Н. Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Николай Григорьевич Бондаренко. – [изд. 2–е, доп. и перераб.]. – К.: Вища школа, 1983. – 234 с.
28. Бондаренко П. А. Агробиологическая оценка посевных машин / П. А. Бондаренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 3. – С. 7–8.

29. Бородин И. Ф. Роль энергии в развитии земледельческой механики / И. Ф. Бородин // Земледельческая механика на рубеже столетий. Сборник докладов пленарного заседания международной конференции. – Таврическая государственная агротехническая академия (ТГАТА), 2001. – С.37–42.
30. Бричагина А. А. Повышение эффективности работы высевающего аппарата зерновой сеялки: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Бричагина Анастасия Александровна. – Иркутск, 2008. – 151 с.
31. Будагов А. А. Предпосылки создания зерновой сеялки точного высева / А. А. Будагов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980. – № 3. – С. 9–11.
32. Будагов А. А. О размещении семян по площади при рядовых посевах / А. А. Будагов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 3. – С. 7–8.
33. Будагов А.А. Об агротехнических требованиях к зерновым сеялкам / А. А. Будагов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1985. – № 7. – С. 24.
34. Бузенков Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
35. Булавин С. А., Мачкарин А. В. Пат. 2 300 183 РФ, МПК A01C 7/16. Вибрационный высевающий аппарат / С. А. Булавин, А. В. Мачкарин (РФ). – № 2005135525/12; заявл. дата 15.11.2005; опубл. 10.06.2007, Бюл. № 16.
36. Булгаков В. Сучасний стан наукового забезпечення державної технічної політики країни у сільському господарстві / В. Булгаков // Техніка АПК. – 2008. – № 9–10. – С. 8–11.
37. В скором времени может появиться сеялка со скоростью посева 20 км\час. Агромир. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://wiki.ru/sites/agromir/id–news–485865.html
38. Вагин И. В. Повышение качества высева семян зерновых культур пневмосеялкой с электроприводом высевающего аппарата и вентилятора : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. технич. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельского хозяйства» / И. В. Вагин. – Пенза, 2010. – 19 с.

39. Валиев Б. Р. Обоснование конструктивной схемы высевающей секции сеялки для совмещенного высева двух культур : материалы LII Международной научно-технической конференции [«Достижения науки – агропромышленному производству»]. – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. IV. – С. 7–10.
40. Валиев Б. Р. Технические особенности высевающих секций сеялки для совмещенного высева двух кормовых культур / Б. Р. Валиев // Российский электронный научный журнал. – Уфа. Изд-во: Башкирский государственный аграрный университет. – 2013. – № 2. – С. 4–6.
41. Валуев В. Н. Совершенствование процесса высева семян двух культур пневмомеханическим высевающим аппаратом : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. технич. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / В. Н. Валуев. – Зерноград, 2004. – 18с.
42. Вепольный анализ (приемы поиска технических решений) [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://studopedia.ru/3_3228_vepolniy–analiz.html
43. Вибрационный высевающий аппарат сеялки. Пат. 2530517РФ, МПКА01С 7/16. А. А. Вишняков, А. С. Вишняков, И. К. Астафьев, В. С. Романов, А. И. Клак (РФ). – №2013116624/13; заявл. дата 11.04.2013; опубл. 10.10.2014. Бюл.№ 28.
44. Висіваюча система сівалки для точного землеробства. Пат. 29525 Україна, МПК А01С 7/04 / Д. Г. Войтюк, О. В. Ямков, Г. Бернхардт, Г. Р. Гаврилюк, Л. В. Аніскевич (Україна). – № 99020841; заявл. дата 15.02.1999; опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6.
45. Висівна система. Пат. 28119 Україна, МПК А01С 7/04. О. М. Іллін, В. М. Ковшарь (Україна). - № 98062863; заявл. дата 22.06.1998; опубл. 16.10.2000.
46. Вишняков А. А. Технологический процесс и технические средства многоструйного вибрационного высева семян сельскохозяйственных культур : дисс. ... докторара технич. наук : 05.20.01 / Вишняков Андрей Анатольевич. – Красноярск, 2006. – 396 с.
47. Вишняков А. С. Многоструйный вибрационный аппарат сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 3. – С. 3–5.

48. Віброгравітаційна висіваюча система. Пат. 21339 Україна, МПК A01C 7/04. / Н. Д. Висоцька, Д. Г. Вальянов (Україна). – опубл. 02.12.1997. – http://uapatents.com/2–21339–vibrogravitacijjna–visivayucha–sistema.html
49. Внуков И. Е. Направления совершенствования высевающих систем зерновых пневматических сеялок / И. Е. Внуков, Н. И. Любушко // Тракторы и сельхозмашины. – 1988. – № 1. – С. 23–27.
50. Войтюк Д., Аніскевич Л., Гаврилюк Г. Структура обладнання посівних машин для проведення сівби зі змінними нормами / Д. Войтюк, Л. Аніскевич, Г. Гаврилюк // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 9–17.
51. Войтюк Д. Г. Технічні проблеми точного землеробства в Україні / Д. Г. Войтюк, В. І. Кравчук, А. А. Кошовий, Г. Л. Баранов // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 9. – С. 41–46.
52. Волошин М. Перспективна техніка для посіву дрібнонасінних культур: сівалки СЗТ–5,4 та СЗ–5,4–06 «Клен» / М. Волошин // Техніка АПК. – 2008. – № 3–4. – С. 36–38.
53. Волошко Н. И. О разработке конструкции и исследовании вибролемеха плуга / Н. И. Волошко, П. А. Ермак, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 39–41.
54. Воронин В. Я. Настоящее и будущее автоматизации сельхозмашин / В. Я. Воронин, В. К. Проничев, Ю. А. Цыганков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 11. – С. 43–44.
55. Высевающая система. Пат. 2056716 РФ, МПК A01C 7/04. В. С. Сухин, В. М. Ковшарь, А. М. Ильин (UA). Заявл. дата 22.05.192; опубл. 27.03.1996.
56. Высевающий аппарат. Пат. 2377756 РФ, МПК A01C 7/12. П. Ф. Трофимов, Э. М. Квашнин, С. Г. Ковалёв, Е. Н. Бехтер (РФ). – № 2008146323/12; заявл. дата 24.11.2008; опубл. 10.01.2010.
57. Высевающий аппарат сеялки. Пат. 2310311 РФ. МПК A01C 7/16. А. А. Вишняков, А. С. Вишняков, И. О. Богульский, Н. А. Богульская, Д. А. Каркавин, В. А. Козлов (РФ). – Заявл. дата 10.03.2006; опубл. 20.11.2007.

58. Высевающий аппарат точного высева семян. А. с. № 435777 СССР, МПК A01C 7/16. В. К. Кутеницын, В. П. Иванов, Е. П. Еремеевский, А. П. Востров. – № 1753641 / 30–15; заявл. дата 29.02.1972; опубл. 15.07.1974. Бюл. № 26.
59. Высевающий аппарат. А. с. № 528901 СССР, МПК A01C 7/04. Ф. Г. Гусинцев, А. Ф. Кошурников, Б. С. Гордеев. – № 2139407 / 15; заявл. дата 30.05.1975; опубл. 25.09.1976. Бюл. № 35.
60. Высевающий аппарат. А. с. № 264031 СССР, МПК A01C 7/04. П. К. Курзов, И. Я. Антоненко, М. П. Одегналов, П. И. Рыбчинский, Г. Д. Бандуровский, А. М. Поспелов, Т. Я. Савицкий, М. М. Ножной, Л. Е. Кацнельсон, Г. Ф. Терещенко, С. И. Шмат, Ю. Ф. Кучерей. – № 1295194 / 30–15; заявл. дата 03.01.1969; опубл. 10.11.1970. Бюл. № 8.
61. Высевающий аппарат. А. с. № 500779 СССР, МПК A01C 7/12. Н. Б. Бок, А. И. Нуждов.–№ 2018308/30–15; заявл. дата 16.04.1974; опубл. 30.01.1976. Бюл. №4.
62. Габай Е. В. Анализ материалоемкости и энергозатрат широкозахватных машинно-тракторных агрегатов / Е. В. Габай, Г. М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1985. – №3. – С. 1–6.
63. Гайдуцький П. І. Відродження МТС (Організація машинно – технологічних станцій в ринкових умовах) / П. І. Гайдуцький, М. Г. Лобас – К., 1997. – 508 с.
64. Гевко Б. М. Особливості розрахунку однозернових апаратів за допомогою морфологічного синтезу / Б. М. Гевко, Р. І. Лотоцький, С. Г. Білик, В. М. Пришляк // Техніка, енергетика, транспорт АПК. Всеукраїнський науково–технічний журнал. – Вінниця, 2015. – № 1 (91) – С. 18.
65. Гевко Б. М. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин : [монографія] / Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, Ю. Ф. Павельчук, В. М. Пришляк, І. І. Чвартацький, М. Л. Заяць, Р. І. Лотоцький. – Тернопіль : Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 238 с.
66. Герук С. Н., Петриченко Е. А. Анализ конструкций агрегатов для предпосевной обработки почвы и посева : материалы Международной научно–технической конференции [«Научно–технический прогресс в сельскохозяйственном производстве»], (Минск, 22–23 октября 2014 г.). – Т.2. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С.147–152.

67. Гусев В. М. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок (обзор) / В. М. Гусев, С. К. Иваница. – М.: Сельскохозяйственные машины и орудия, 1982. – Серия 10. – 31 с.
68. Девликамов Р. Р., Ларюшин Н. П. Проблема качества посева зерновыми сеялками : материалы Международной конференции, посвященной 105–летию со дня рождения профессора В. В. Красникова [«Новые технологии и технические средства в АПК»]. – Саратов : Изд–во «КУБиК», 2013. – С. 37–40.
69. Дегтярев В. А. Мобильная энергетика в одиннадцатой пятилетке / В. А. Дегтярев, А. Я. Поляк // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 2. – С. 1–3.
70. Дифференциальные уравнения для сеялки. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.zerno–ua.com/journals/2012/sentyabr–2012–god/differencialnye–uravneniya–dlya–seyalki
71. Дринча В. Лучше меньше да лучше / В. Дринча // Сельский механизатор. – 1998. – № 12. – С. 11–12.
72. Дубровский А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве / А. А. Дубровский. – М.: Машиностроение, 1968. – 204 с.
73. Жук А. Ф. Обоснование комплекса почвообрабатывающих машин с электроприводом рабочих органов для возделывания озимых зерновых культур / А. Ф. Жук, Н. С. Кабаков, Г. Д. Сущевская // Электрификация мобильных и стационарных процессов в растениеводстве. Научные труды ВИЭСХ. – М.: ВИЭСХ, 1983. – 107 с.
74. Жук З. Я. Техническое оборудование для специализированных агрокомплексов будущего / З. Я. Жук, Ю. А. Кругляков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 4. – С. 3–6.
75. Заїка П. М. Результати польових випробувань вібраційно-дискового висівного апарату на сівбі дрібнонасіннєвих сільськогосподарських культур / П. М. Заїка, М. В. Бакум, Р. В. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – Вип. 39. – С. 48–53.

76. Закон увеличения степени вепольности [Электронный ресурс]. Режим доступу : https://www.alterozoom.com/documents/10541.html
77. Законы развития систем [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.altshuller.ru/triz/zrts1.asp#32
78. Зангиев А. А. Оптимизация энергонасыщенности трактора с учетом уплотняющего воздействия на почву / А. А. Зангиев // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 2. – С. 34–36.
79. Золотухин Е. А. Обоснование параметров высевающего устройства для дифференцированного дозирования семян и удобрений : дисс. доктора философии (PhD) : 6D080600 «Аграрная техника и технология» / Золотухин Евгений Александрович. – Республика Казахстан, Астана, 2016. – 130с.
80. Зырянов В. А. Перспективные широкозахватные посевные агрегаты / В. А. Зырянов, Н. Г. Цыбуля // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – №3. – С.52–54.
81. Иванов В. П., Баловнев К. А., Трубилин Е. И. Вибрационный высевающий аппарат. Пат. 2343677 РФ, МПК A01C 7/16. – заявл. дата 02.20.2007; опубл. 20.01.2009.
82. Иофинов С. А. Индустриальные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / С. А. Иофинов, Г. П. Лышко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 4. – С. 16–18.
83. Кабанов И. Д. Повышение технико–экономических показателей мобильных технологических агрегатов с помощью электрических передач / И. Д. Кабанов, Н. Е. Епишков, И. Я. Редько // Повышение технико–экономических показателей сельскохозяйственных тракторов. Сборник научных трудов. – Челябинск, 1985. – С. 30–33.
84. Канарев Ф. М. Системный анализ в оценке технологий / Ф. М. Канарев, Е. А. Ковалева // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 2. – С. 46–47.
85. Касумов Н. Э., Свентицкий И. И. Энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции как критерий эффективности / Н. Э. Касумов, И. И. Свентицкий // Вестник Брянского государственного университета. – Брянск: РИО БГУ, 2014. – № 3. – С. 42–45.

86. Кинкер М. Г. Тенденции развития средств автоматизации посевной техники / М. Г. Кинкер // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 4. – С.9–11.
87. Кириченко В. Е. Совершенствование технологического процесса локального припосевного внесения гранулированных минеральных удобрений дозирующей системой пневматического действия : дисс. … канд. техн. наук : 05.20.01 / В. Е. Кириченко. – Луганск, 1996. – 190 с.
88. Клишин А. И. Высевающие устройства посевных машин / А. И. Клишин // Вестник Алтайского государственного агроуниверситета. – 2003. – № 4. – С.132–136.
89. Клишин А.И. Обоснование параметров и режимов работы вибрационного высевающего аппарата: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Клишин Алексей Иванович; [Место защиты: Сиб. науч.–исслед. ин–т механизации и электрификации сел. хоз–ва]. – Новосибирск, 2009. – 214 с.
90. Клишин А. И. Тенденция развития вибрационных высевающих аппаратов, сеялок / А. И. Клишин, Е. В. Красовских, С. А. Тарасов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. –№ 2. – С. 156–161.
91. Клочков А. В. Современная сельскохозяйственная техника для растениеводства : [пособие] / А. В. Клочков, В. А. Попов. – Горки. БСХА, 2009. – 172 с.
92. Кобченко С. Н. Адаптивные элементы сеялок точного высева / С. Н. Кобченко, Э. Ю. Медведев // Актуальные проблемы и инновационная деятельность в агропромышленном производстве. Сборник научных трудов. – Курск : изд. Курской ГСХА, 2015. – С. 30–31.
93. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль // Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту. – Луганськ: Видавництво ЛСГІ, 1998. – № 2 (4). – С. 23–29.
94. Коваль С. Тенденции развития конструкций зерновых сеялок / С. Коваль // Техніка АПК. – 2008. – № 5. – С. 12–19.

95. Козлов В. А. Комбинированный вибрационный высевающий аппарат зерновой сеялки / А. А. Вишняков, А. С. Вишняков, В. А. Козлов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №11. – С. 3–5.
96. Козлов В. А. Обоснование параметров и режимов работы комбинированного высевающего аппарата вибрационного типа: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Козлов Владимир Александрович; [Место защиты: «Красноярский государственный аграрный университет»].– Красноярск, 2012. – 18 с.
97. Кондауров Д. И. Зависимость производительности мобильной сельхозмашины от ее параметров и условий эксплуатации / Д. И. Кондауров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 11. – С. 17–19.
98. Кошурников А. Ф. Пунктирный посев пропашных культур и формирование густоты насаждений : [монография] / Анатолий Федорович Кошурников. – Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2015 – 218 с.
99. Красовских В. С. Высевающие устройства посевных машин / В. С. Красовских, А. И. Клишин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 8. – С. 48–51.
100. Крючин Н. П. Обоснование ресурсосберегающих технологий рядового посева и совершенствование высевающих систем посевных машин : автореф. дисс. на соиск. научн. степени доктора технических наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Н. П. Крючин. – Саратов, 2006. – 43 с.
101. Крючин Н. П. Повышение эффективности распределительно–транспортирующих систем пневматических посевных машин : [монография] / Н. П. Крючин. – Самара : РИЦ СГСХА, 2008. – 175 с.
102. Крючин Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : [уч. пособие] / Н. П. Крючин. – Самара: РИЦ СГСХА, 2009. – 176с.
103. Ксеневич И. П. Автоматизация и электронизация – путь интенсификации сельскохозяйственного производства / И. П. Ксеневич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 6. – С. 9–11.

104. Ксеневич И. П. О системном методе прогнозирования параметров сельскохозяйственных агрегатов / И. П. Ксеневич, В. В. Гуськов, А. Т. Скойбеда // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 8. – С.3–5.
105. Ксеневич И. П. О перспективах развития агрегатной унификации и создания модульных энергетических средств / И. П. Ксеневич, В. В. Яцкевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 12. – С. 6–11.
106. Кузнецов Б. Ф. Основные направления развития конструкций посевных машин / Б. Ф. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1980. – № 9. – С. 13–14.
107. Кузнецов Б. Ф. Современные сеялки для посева пропашных и зерновых культур / Б. Ф. Кузнецов, Е. А. Беляев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 3. – С. 11–13.
108. Кузнецов Б. Ф. Состояние и основные направления работ по созданию посевной техники / Б. Ф. Кузнецов, П. В. Сысолин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1975. – № 10. – С. 16–18.
109. Кузнецова М. К. Неравномерность высева семян зерновыми сеялками / М. К. Кузнецова, М. А. Виноградов, В. В. Жигайлов, А. Н. Варава // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1980. – №7. – С.17–18.
110. Куйбышев В. А. Научное обеспечение механизации сельскохозяйственного производства в 12–й пятилетке / В. А. Куйбышев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 11. – С. 3–4.
111. Ларюшин Н. П., Щученков А. Ю. Обоснование выбора высевающего аппарата для посева зерновых культур : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной дню российской науки [«Образование, наука, практика : инновационный аспект»], (Пенза, 5-6 февраля 2015 г.). – Том II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 43–45.
112. Лесниковский А. И. Оценка машин по обобщенному критерию качества / А.И. Лесниковский, Т. И. Сенченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – № 3. – С. 56–58.
113. Либцис С. Е. Потенциальные возможности использования мощности энергонасыщенных колесных тракторов / С. Е. Либцис // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 9. – С. 8–16.

114. Либцис С. Е. Статистическая оценка мощности и удельной массы сельскохозяйственных тракторов / С. Е. Либцис, Т. А. Кузько // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – №2. – С. 8–11.
115. Липкович Э. И. Базисное машинно–технологическое обеспечение сельскохозяйственных производственных процессов : материалы Всероссийской научно–практической конференции [«Фундаментальные основы научно–технической и технологической модернизации АПК»] : (фа, 6-7 июня 2013 г.). – Часть I. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – С. 20–30.
116. Листопад Г. Е. Важнейшие проблемы в развитии земледельческой механики / Г. Е. Листопад // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 3. – С.4–9.
117. Лихочвор В. Чи доцільно мати сівалку точного висіву зернових / В. Лихочвор // Техніка АПК. – 1996. – № 3. – С. 12–14.
118. Ломакин Б. М. Проблема автоматизации мобильных сельхозмашин: итоги прошедшей пятилетки / Б. М. Ломакин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1992. – № 6. – С. 41–45.
119. Любушко Н. И. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н. И. Любушко, В. Н.Зволинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 2 – С. 4–7.
120. Любушко Н. И. Направления развития конструкций зерновых сеялок точного высева / Н. И. Любушко, Ф. В. Ковлягин, Р. Н. Зинина // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. – № 11. – С. 3–4.
121. Ма С. А. Техническая политика в области разработки посевной техники / С. А. Ма // Техника в сельском хозяйстве. – 1999. – № 6. – С. 38–40.
122. Магнитный высевающий аппарат. А. с. № 603356 СССР, МПК A01C 7/04. Б.С. Гордеев, А. Ф. Кошурников, Ф. Г. Гусинцев. – № 2323297 / 15; заявл. дата 13.02.1976; опубл. 25.04.1978. Бюл. № 15.
123. Макаров В. В. Исследование влияния процессов трения и износа на работоспособность тепловыделяющих сборок водоводяных энергетических реакторов / В. В. Макаров, А. В. Афанасьев, И. В. Матвиенко, М. В. Пучков, Ю. Н. Дроздов, В. Н. Пучков : материалы 7–й МНТК [«Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР»], (17–20 мая 2011 г.). – ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия, 2011.

124. Максимов Д. А. Некоторые пути устойчивого развития сельскохозяйственного производства : материалы 4–й научно–практической конференции [«Экология и сельскохозяйственная техника»]. – Т.2. Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. – С. 52–58.
125. Малієнко А. М. Загальні закономірності формування технологій мінімального обробітку ґрунту в землеробстві України / А. М. Малієнко // АгроІнКом. – 2007. – № 1–2. – С. 18–22.
126. Маслов Г. Г., Плешаков В. Н. Оценка технического уровня зерновых сеялок и посевных комплексов / Г. Г.Маслов, В. Н. Плешаков // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 6. – С. 19–22.
127. Мироненко В. Г. Науково–технічні основи розробки засобів механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів у рослинництві: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В.Г. Мироненко. – К., 2006. – 39 с.
128. Мироненко В. Г. Автоматизація технологічних процесів — як фактор створення сільськогосподарської техніки нового покоління / В. Г. Мироненко, С. В. Ткачук // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2014. – Випуск № 99, Т. 2 / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2014. – С. 11–16.
129. Модернизация сеялок. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://intris.com.ua/agricultural–machinery/modernizatsiya–seyalok.html
130. Мухин С. П. Проблемы совершенствования машин посевного комплекса / С. П. Мухин // Достижения науки и техники АПК. – 1992. – № 2. – С. 18–19.
131. Мухин С. П. Систематизация высевающих аппаратов машин посевного комплекса (механические высевающие аппараты) / С. П. Мухин // Достижения науки и техники АПК. – 1992. – № 7. – С. 33–36.

132. Нелюбов А. И. Внедрение новых материалов – один из путей совершенствования конструкций сельхозмашин / А. И. Нелюбов, Ю. А. Бабин // Тракторы и сельхозмашины. – 1988. – № 11. – С. 7–9.
133. Никифоров А. Л. Обоснование параметров и режимов работы вибрационного высевающего аппарата рядовой сеялки: дисс. ... кандидата технических наук : 05.20.01. «Механизация сельскохозяйственного производства» / Никифоров А. Л. – Москва, 2004. – 177 с.
134. Нукешев С. О. Некоторые результаты экспериментальных исследований дозирующей системы зернотуковой машины с блоком контроля и управления / С. О. Нукешев, Д. З. Есхожин, Н. Н. Романюк, Е. С. Ахметов, К. Д. Есхожин, Е. А. Золотухин, К. М. Тлеумбетов // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2015. – № 1 (84). – С. 198–207.
135. Нагирный Ю. П. Системный подход, цели и критерии в инженерной деятельности : [занятие 2] / Ю. П. Нагирный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1989. – № 9. – С. 9–12.
136. Овсянников С. А. Совершенствование технологического процесса механизированного посева семян зерновых культур машиной с электромагнитной системой дозирования норм высева : автореф. дисс. на соиск. научн. степени кандидата технических наук : спец. 05.20.01. «Механизация сельскохозяйственного производства» / С. А. Овсянников. – Зерноград, 2000. – 23 с.
137. Овсянников С. А. Эксплуатационно–технологические показатели посевного агрегата на базе сеялки СЗС–6 / С. А. Овсянников, С. В. Цымбаленко, А. А. Овсянников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – № 5. – С. 31–32.
138. Основные направления инновационного развития и управления качеством сельскохозяйственной техники. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.asm–holding.ru/pub/profile/present/gosniti_12_2011.pdf
139. Панков А. А., Щеглов А. В. Качественный системный анализ процессов и явлений в техническом обеспечении АПК : матеріали IX Міжнародної

науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2013 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2013. – Вип.1. – С. 219–221.

140. Панков А. А. Повышение производительности посевных машин на основе рационального использования энергии / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 68/91. – С. 186–193.
141. Панков А. А. Совершенствование дозирующих систем с элементами струйной техники для рядовых культур / А. А. Панков, В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 126–129.
142. Панков А. А. Тенденции развития технических средств для выращивания зерновых культур в агропромышленном комплексе : матеріали Всеукраїнської науково–практичної інтернет–конференції з міжнародною участю [«Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта»], (Луганськ, 4 квітня 2014 р.) / Міністерство освіти, «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2014. – С. 57–58.
143. Панков А. А. Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 76–82.
144. Панков А. О. Підвищення якості технологічного процесу сівби насіння круп’яних культур мобільною струминною дозуючою системою: дис. … кандидата техн. наук : спец. 05.20.01 ”Механізація сільськогосподарського виробництва” / Панков Андрій Олександрович. – Луганськ, 2000. – 198 с.
145. Панов И. М. Пути повышения производительности пахотных агрегатов / И. М. Панов // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – №7. – С. 21–25.
146. Пархоменко Ю. М. Розробка САК змінними нормами висіву на базі сівалки СЗ–3,6 / Ю. М. Пархоменко, М. Д. Пархоменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.

Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч. 1. – С. 330–334.

147. Пархоменко Ю.М., Пархоменко М.Д. Шляхи автоматизації процесу висіву при місце визначеному землеробстві : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 129–130.
148. Пастухов В. И. Агробиологическое обоснование смешанных посевов / В.И. Пастухов, В. И. Мельник, А. Д. Витанов, В. Н. Писаренко / Науковий журнал «Інженерія природокористування». – Харків, 2015. – № 2 (4). – С. 29–46.
149. Пастухов В. І. Котушковий висівний апарат / В. І. Пастухов, М. В. Бакум, Р. В. Кириченко // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – Вип. 180. – С. 24–29.
150. Пастухов В. І. Перспективні напрямки модернізації зернових сівалок / Бакум Н. В., Пастухов В. І., Нікітін С. П., Михайлов А. Д. / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Вип. 135. – Харків. – 2012. – С. 77–88.
151. Пат. 108787 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01983; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.
152. Перспективы использования точного земледелия при производстве растениводческой продукции. Беленков А.И. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://svetich.info/publikacii/tochnoe–zemledelie/perspektivy–ispolzovanija–tochnogo–zemle.html
153. Петров А. М., Машков С. В., Котрухова Е. С. Анализ конструкций высевающих аппаратов точного высева пропашных сеялок и посевных комплексов : материалы Международной научно–практической конференции, посвященной Дню российской науки [«Образование, наука, практика: инновационный аспект»], (5–6 февраля 2015 г.). – Том II. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – С. 109–111.

154. Петров В. М. Методологія технічного забезпечення інноваційних технологій у рослинництві [Електронний ресурс] / В. М. Петров. Режим доступу : http://dspace.knau.kharkov.ua
155. Петров Л. Н., Соколов В. М., Соколов С. В. А. с. № 1036275 СССР, А 01 С 7/16. Вибрационный высевающий аппарат сеялки. – № 3438285 / 30–15; заявл. дата 06.05.1982; опубл. 23.08.1983. Бюл. № 31.
156. Пиуновский И. И. Принцип оптимальной энергоемкости технологических процессов и средств механизации в сельскохозяйственном производстве / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко // Вестник БГСХА. – Т. 1, № 1. – Горки, 2016. – С. 98–101.
157. Плешаков В. Н. Обоснование технического уровня и направлений развития сельскохозяйственной техники : дисс. ... доктора технич. наук : 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Плешаков Вадим николаевич. – Краснодар, 2001. – 529 с.
158. Пневматический высевающий аппарат с регулируемой дозирующей системой. Пат. № 2530154 РФ, МПК A01C 7/00. Синенков Д. В., Дёмин С. Б. (РФ). – №2012155916/13; заявл. дата 21.12.2012; опубл. 10.10.2014. Бюл.№ 28.
159. Погорелый Л. В. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники / Л. В. Погорелый, В. Г. Бильский, Н. П. Кононенко. – К. : Урожай, 1989. – 240 с.
160. Погорелый Л. В. Индустриализация агропромышленного комплекса / Леонид Владимирович Погорелый. – К. : Техніка, 1984. – 200 с.
161. Погорелый Л. В. Повышение эксплуатационно-технологической эффективности сельскохозяйственной техники / Леонид Владимирович Погорелый. – К.: Техніка, 1990. – 174 с.
162. Погорілий Л. Інформаційна технологія системи точного землеробства / Л. Погорілий, М. Осипов, А. Пашко, О. Соломаха // Техніка АПК. – 2000. – № 10. – С. 21–22.
163. Погорілий Л. В. Обґрунтування агротехнічних вимог щодо точного висіву зернових культур і технічних засобів для його здійснення / Л. В. Погорілий, М. С. Шведик // Вісник аграрної науки. – 1992. – № 7. – С. 40–44.

164. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : [учеб. пособие для студентов вузов] / Юрий Викторович Подураев. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
165. Попович О. М. Система керування процесом місцевизначеної сівби / О. М. Попович // Техніко–технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць (УкрНДІПВТ ім.Л.Погорілого). – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27), кн. 2. – С. 77–81.
166. Привод высевающего аппарата пневматических сеялок. Пат. № 94799 РФ, МПК A01C 7/00. Курдюмов В. И., Ильдутов А. Н., Вагин И. В., Зыкин Е. С., Кузюкин А. С., Куряев А. А. – № 2005137432/12; заявл. дата 01.12.2005; опубл. 20.05.2008. Бюл. № 14.
167. Про житочный минимум. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.business.ua/tehnology/Pro_zhitochnyy_minimum–329707/
168. Проспект фирмы Sulky Maxidrill. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.sulky–burel.com/mgt/resources/fichiers/MAXIDRILL_RU_01.pdf
169. Ревякин Е. Л. Ресурсосберегающие технологии: состояние, перспективы, эффективность / Е. Л. Ревякин, А. Т. Табашников, Е. М. Самойленко, В. И. Драгайцев. – М. : ФГБНУ Росинформагротех, 2011. – 156 с.
170. Репетов А. Какой агрегат выгоднее? / А. Репетов // Сельский механизатор. – 1987. – № 2. – С. 10.
171. Ролдугин Н. И. Обоснование оптимальной ширины захвата посевных агрегатов / Н. И. Ролдугин, И. Ф. Брехарь, В. Н. Степанов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 7. – С. 25–28.
172. Романишин О. Ю. Сошник для розкидного способу сівби зернових культур / О. Ю., Романишин М. Л. Заєць // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2006. – № 4. – С. 87–89.
173. Россоха В. В. Технологічні трансформації в агропромисловому виробництві України: тенденції та результати [Електронний ресурс] / В. В. Россоха, Д. О. Соколов. – Режим доступу: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/ 123456789/ 2901/Rossokha.pdf?sequence=1

174. Руководство по эксплуатации Amazone. Сеялки AD–P 303 Special, AD–P 353 Special, AD–P 403 Special. – 186с.
175. Сарахан Е. В. Информационные технологии в прецизионном земледелии / Е. В. Сарахан // Компьютерные средства, сети и системы. –2010.–№9. –С.82–91.
176. Свентицкий И. И. Биоэнергетические аспекты системных решений в высокоинтенсивном земледелии / И. И. Свентицкий // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – №3. – С. 46–50.
177. Свентицкий И. И. О развитии биоэнергетических основ агроэнергетики / И. И. Свентицкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 5. – С. 54–57.
178. Семенов А. Н., Троянов Н. Н. А. с. № 399220 СССР, МПК A01C 7/04. Вибрационный высевающий аппарат. – № 1772776 / 30–15; заявл. дата 14.14.1972; опубл. 03.10.1973. Бюл. № 39.
179. Сеялка с автоматизированной системой регулирования густоты посева // Земледелие. – 1997. – № 2. – С. 34.
180. Сеялки “Клён” с микропроцессорным управлением и контролем высева // Новини агротехніки. – 2006. – № 1 (49). – С. 35.
181. Сисолін П. В. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів) : [навч. посібник для студ. вищих навч. закл. із спец. "Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва"] / П. В. Сисолін, М. О. Свірень. – Кіровоград, КНТУ, 2004. – 160 с.
182. Система законов развития техники (основы теории развития технических систем) [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.trizminsk.org/e/21101470.htm
183. Сівалка для диференційованої сівби з вібраційним висівним апаратом. Пат. 80351 Україна, МПК A01C 7/00. Л. В. Аніскевич, О. О. Броварець, В. Б. Онищенко (Україна). - № u 2012 13648; заявл. дата 28.11.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.
184. Сівалка для диференційованої сівби з котушково–штифтовим висівним апаратом. Пат. 100963 Україна, МПК A01C 7/00, МПК G01S 19/00. Автори: Аніскевич Л. В., Броварець О. О., Онищенко В. Б. (Україна). - № a 2012 1364; заявл. дата 28.11.2011; опубл. 25.08.2015. Бюл. № 16.

185. Сівалка для диференційованої сівби з котушково–штифтовим висівним апаратом. Пат. 100962 Україна, МПК A01C 7/12. Автори: Аніскевич Л. В., Броварець О. О., Онищенко В. Б. (Україна). - № а 2012 13647; заявл. дата 28.11.2011; опубл. 25.08.2015. Бюл. № 16.
186. Соклаков В. В. Режимы и параметры универсальной дозирующей системы дифференцированного высева семян: дисс. ... кандидата технич. наук : 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Соклаков В.В. – Зерноград, 2003. – 179 с.
187. Способ управления дозирующей системой сеялки и устройство для его осуществления. Пат. № 2273979 РФ, МПК A01C 7/00, МПК A01C 7/04. Соклаков В. В., Липкович Э. И., Чекрыгина И. М., Беспамятнова Н. М. (РФ). – № 2001132935/12; заявл. дата 03.12.2001; опубл. 20.04.2006. Бюл. № 11.
188. Стариков В. М. Перспективы создания сельскохозяйственной техники / В. М. Стариков // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 3. – С. 51–53.
189. Степанянц Э. Н. Определение оптимальных параметров пахотных агрегатов методом математического моделирования / Э. Н. Степанянц // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 31–32.
190. Строчилин М. Н., Нестяк В. С., Усольцев С. Ф. Пат. 56769 РФ, МПК A01C 7/16. Вибрационный высевающий аппарат овощной сеялки. – № 20061147118/12; заявл. дата 28.04.2006; опубл. 27.09.2006.
191. Сухин В. С. Механико - технологические основы процесса дифференцированного высева семян пшеницы вибродискретными высевающими аппаратами автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 0520.01. «Механизация седьскохозяйственного производства» / В. С. Сухин. – Краснодар, 1988. – 23 с.
192. Тараріко Ю. О. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва : [науково–методичне забезпечення] / Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков; за наук. ред. Ю. О. Тараріко. – К.: Аграрна наука, 2005. – 200 с.
193. Татьянко Н. В. Сравнительная оценка машин по совокупности признаков / Н. В. Татьянко, В. А. Грозубинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 50–53.

194. Технологии, которые изменят сельское хозяйство. Техника с электрическим приводом. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://agro–inform.com.ua/?p=440
195. Тимофеев А. И. Посевные машины / А. И. Тимофеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1977. – № 3. – С. 61–62.
196. Титов В. С. Перспективы применения электрических передач в тракторах и машинно–тракторных агрегатах / В. С. Титов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1977. – № 2. – С. 5–7.
197. Токарев В. А. Пути повышения производительности посевных агрегатов / В. А. Токарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 35–37.
198. ТОП–10 технологических решений будущего для сельского хозяйства [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://businessviews.com.ua/ru/business/id/top–10–tehnologicheskih–reshenij–buduschego–dlja–selskogo–hozjajstva–646/
199. Точное земледелие – инновация в системе ресурсосберегающего земледелия. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://mcx–consult.ru/d/77622/d/tochnoe–zemledelie.pdf
200. Точное земледелие в Украине. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://b–logbook.info/technology/agro–technology/precision–agriculture.html
201. Точное земледелие для АПК Беларуси. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.agro.by/press–center/stati/102–tochnoe–zemlede–
202. Точное земледелие повышает рентабельность растениеводства. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://b–logbook.info/interview/tochnoe–zemledelie–povyishaet–rentabelnost–rastenievodstva.html
203. Точное земледелие. Agri 2,0. Решения для точного земледелия от Агри 2,0. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://www.agri2.ru/upload/iblock/57b/57b721285ceb2c01a9943e9335452066.pdf

204. Точность в простоте. [Электронный ресурс]. Режим доступу : http://ru.ravenprecision.com/_onelink_/ravenindustries/en2ru/pdfs/assets/users/general/Raven_Product_Catalog_SP14.pdf
205. Трофимов В. А. Электронизация и технический уровень сельскохозяйственной техники / В. А. Трофимов, А. И. Хохлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 6. – С. 12–13.
206. Универсальная автоматизированная система дифференцированного высева семян "Урожай". [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.ptechnology.ru/MainPart/CelHozTech/CelHozTech7.html
207. Усавковский В. М. Вибрационная техника в сельском хозяйстве / В. М. Усавковский. – М. : Знание, 1971. – 32 с.
208. Устройство для автоматического регулирования технологического процесса сельхозмашины. Пат. № 2460268 РФ, МПК A01C 7/00. А. Ю. Измайлов, Н. Т. Гончаров, В. К. Хорошенков, И. И. Афонина, Н. В. Мальцев, А. П. Фалеев, Н.П. Ксенофонтов, О. А. Сизов (РФ). – № 2011107483/13; заявл. дата 25.02.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25.
209. Устройство для посева с переменной нормой высева. А. с. № 1544230 СССР, МПК A01C 7/12. Авторы: А. Б. Коганов, Х. Н. Ибрагимов, В. А. Елкин, А. В. Хохлов. – № 4420539/30–15; заявл. дата 04.05.1988; опубл. 23.02.1990. Бюл. №7.
210. Федоренко В. Ф. Научно–информационное обеспечение инновационного развития в сфере сельского хозяйства / В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2011. – 368 с.
211. Федоренко В. Ф. Технологическая модернизация растениеводства на основе инновационной техники // материалы Всероссийской научно–практической конференции [«Фундаментальные основы научно–технической и технологической модернизации АПК (ФОНТиТМ–АПК–13)»], (6–7 июня 2013 г.) / Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – Ч. I. – С. 47–58.
212. Фирсов А. С. Анализ конструкций высевающих аппаратов для возделывания сельскохозяйственных культур / А. С. Фирсов, В. В. Голубев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (42). – С. 85–88.

213. Хлыстов Е. Универсальная сеялка СЗП–3,6Б с дифференцированным высевом / Е. Хлыстов, А. Мжельский // Сельский механизатор. – 2006. – №8. – С. 39.
214. Хорунженко В. Е. Совершенствование методов анализа и технического уровня сельхозмашин / В. Е. Хорунженко, Г. М. Пекерман, Л. И. Кондратец, А. М. Кругляков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 7. – С. 6–8.
215. Цатурян А. И. Характеристики электрифицированного гравитационного питателя мелких семян / А. И. Цатурян, А. Г. Ваниян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 4. – С. 57–58.
216. Цветков В. Д. Системно–структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. – Минск: Наука и техника, 1979. – 264 с.
217. Шведик Н. С. Обоснование параметров канала для ввода семян в эжекторное устройство зерновой сеялки точного высева / Н. С. Шведик // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 3. – С. 58–62.
218. Шевченко И. А. Применение информационных технологий в сельскохозяйственном производстве / И. А. Шевченко, А. А. Пашко // Техніка АПК. – 2000. – № 8. – С. 18–19.
219. Щербаков Ю. И. Универсальная микропроцессорная система для оценки качества работы посевных агрегатов / Ю. И. Щербаков, В. К. Хорошенков, В. А. Голивец // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 2–4.
220. Эйдис А. Л. Интенсификация и Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства / А. Л. Эйдис, А. Н. Черепахин, В. М. Стариков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 2. – С. 3–5.
221. Эффективные решения для посевных работ. Проспект фирмы Kuhn. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.kuhn.ua/internet/prospectus.nsf/0/46EB20D3C94A453CC1257ECA0036697D/$File/920541_RU.pdf

222. Яковчик С. Г. Анализ распределителей посевного материала пневматических зерновых сеялок / С. Г. Яковчик, Ю. Л. Салапура // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. – Вып. 48, т. 1. – Минск, 2014. – С. 3–10.
223. Якушев В. В. Программно–технические средства информационного обеспечения и реализации агроприёмов в системе точного земледелия : автореферат дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук : спец. 06.01.03 «Агропочвоведение, агрофизика» / В.В. Якушев. – С.–Петербург, 2005. – 25с.
224. Яцкевич В. В. О принципе модульного построения сельскохозяйственных мобильных агрегатов / В. В. Яцкевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 10. – С. 11–14.
225. Адуов М. А., Матюшков М. И., Нукушева С. А. Анализ сеялок и посевных комплексов для ресурсосберегающей технологии возделывания зерновых культур в условиях северного Казахстана : материалы Республиканской научно-теоретической конференции [«Сейфуллинские чтения – 11 : Молодежь и Наука»]. – 2015. – Т. 1, ч. 2. – С. 33-36.
226. Антощенков Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія / Р. В. Антощенков. – Х.: ХНТУСГ, «Міськдрук», 2017. – 244 с.
227. Астахов В. С. Анализ пневматических централизованных высевающих систем / В. С. Астахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 10. – 1997. – С. 33–34.
228. Бакум М. В., Пастухов В. І., Кириченко Р. В., Крохмаль Д. В., Басов О. І., Удосконалення конструкції котушкового висівного апарата : матеріали XI Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 204-206.
229. Борошок Л. А. Автоматичні системи і технічний рівень зернових сівалок / Л. А. Борошок // Вісник аграрної науки. – № 9. – 1994. – С. 67–74.

230. Бочкарев В. В. Оптимизация технологических процессов органического синтеза : [учебное пособие] / В. В. Бочкарев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 185 с.
231. Вишняков А. С. Многоструйный вибрационный аппарат сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 3. – С. 3–5.
232. Герук С. М. Тенденції розвитку конструкцій посівних агрегатів / С. М. Герук, Є. А. Петриченко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2014. – № 1. – С. 31–45.
233. Гидравлический двигатель OmniRow. Режим доступу : https://media.kramp.com/kws/krampd_rd/_8B3bIB3_IzL_26lOs-Kks6dWs6dW0jq_F_
234. Гусев В. М. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок за рубежом / В. М. Гусев, Ю. Н. Бондаренко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 3. – С. 37–39.
235. Евтенко В. Г. Универсализация сельскохозяйственных тракторов и блочно-модульный метод создания мобильных агрегатов / В. Г. Евтенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 10. – С. 15–19.
236. Епишков Н. Е. Электрические силовые передачи в мобильных агрегатах / Н. Е. Епишков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 11. – С. 3–7.
237. Жук З. Я. Прогнозные исследования основных групп сельхозмашин / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 12. – С. 6–12.
238. Жукевич К. И. Оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий / К. И. Жукевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 6. – С. 4–5.
239. Завражнов А. А. Моделирование почвообрабатывающих машин / А. А. Завражнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 12. – С.6–9.
240. Зангиев А. А. Особенности составления пахотных агрегатов для работы в условиях неровного рельефа / А. А. Зангиев, О. Н. Дидманидзе // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 3. – С. 37–38.

241. Котов Д. Н. Поэтапный анализ технологического процесса высева семян / Д. Н. Котов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 3. – С. 23–25.
242. Кряжков В. М. Комплексная автоматизация производственных процессов в растениеводстве / В. М. Кряжков, И. П. Ксеневич, В. К. Хорошенков // Техника в сельском хозяйстве. – 1992. – № 1. – С. 2–3.
243. Ксеневич И. П. К прогнозированию машинно-тракторного парка / И. П. Ксеневич, В. В. Гуськов, Н.Е. Андриков, В. В. Яцкевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1979. – № 12. – С. 3–4.
244. Куликівський В. Л., Хотинський Є. В. Аналіз конструкцій сівалок для сівби зернових культур : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 87–88.
245. Куренков В. И. Методы исследования эффективности ракетно-космических систем. Методические вопросы / В. И. Куренков. – Самара, 2012. – 95 с.
246. Любушко Н. И. Увеличение ширины захвата зерновых сеялок / Н. И. Любушко, П. Ф. Тулапин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 4. – 1977. – С. 16–17.
247. Мазитов Н. К. Совершенствование машин для поверхностной обработки почвы / Н. К. Мазитов // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. – № 5–6. – С. 9–10.
248. Нукешев С. О. Результаты экспериментальных исследований автоматизированной дозирующей системы машины для дифференцированного применения семян и удобрений / С. О. Нукешев, Д. З. Есхожин, Г. И. Личман, Е. С. Ахметов, К. Д. Есхожин, Е. А. Золотухин // Новости науки Казахстана. – 2016. – № 1 (127). – С. 180–197.
249. Орлов Н. М. Агрегатирование широкозахватных МТА при модульном построении сельхозмашин / Н. М. Орлов, С. Н. Колчин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 12.

250. Панков А. А. Механико-технологические основы снижения энергетических затрат при работе посевных машин / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 65/88. – С. 164–173.
251. Пархоменко Ю. М. Обґрунтування вибору параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зерновими сівалками / Ю. М. Пархоменко, В. О. Кондратець, М. Д. Пархоменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць КНТУ. – Вип. 26, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 192–197.
252. Пархоменко Ю. М. Теоретичне обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур / Ю. М. Пархоменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць КНТУ. – Вип. 24, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 223–232.
253. Пастухов В. І. Використання сівалки з вібраційно-дисковим висівним аппаратом при вирощувані овочевих культур / В. І. Пастухов, М. В., Бакум, Р.В. Кириченко В.В. Живолуп // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 11, т.2 (66). – С. 240–244.
254. Пастухов В. І., Крохмаль Д. В. Якісні показники роботи сівалки для сумісних посівів : матеріали XI Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 209-210.
255. Пат. 44525 Україна, МПК A01C 7/08. Пневмоімпульсний висівний апарат сівалки для точного землеробства / А. І. Бойко, М. О. Свірень, В. В. Амосов, В. В. Федорчак (Україна). – № u200903242; заявл. 06.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 2 с.
256. Пат. 48270 Україна, МПК A01C 7/16. Пневмоімпульсний висівний апарат сівалки для точного землеробства / Л. В. Аніскевич (Україна). - заявл. дата 09.06.1999; опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.

257. Полосинов С. А. Синтез интегральных оценочных критериев в задачах принятия решений : материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. – М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 7943–7954.
258. Применение новых информационных технологий в земледелии [Електронний ресурс] / А. А. Панков, А. В. Щеглов, В. А. Колесников // Наукові вісті Далівського університету. – 2012. – № 9 (180), Ч. 2. – Режим доступу до журналу: http://uran.donntu.org/~masters/2014/igg/knysh/library/17.htm
259. Прохорова И. А.Теория систем и системный анализ : [учебное пособие] / И.А. Прохорова. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 49 с.
260. Пятаев М. В. К вопросу моделирования процесса распределения семян распределителем пневматической зерновой сеялки / М. В. Пятаев, А. П. Зырянов, Н. А. Кузнецовв // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С. 177–182.
261. Раднаев Д. Н. Методологические основы разработки технологий и технических средств посева при возделывании зерновых культур в условиях Забайкалья : автореф. дисс. на соиск. научн. степени докт. технич. наук : спец. 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства / Д. Н. Раднаев. – Улан-Удэ, 2013. – 40 с.
262. Раднаев Д. Н. Система моделей для оценки посевных машин / Д. Н. Раднаев // Аграрная наука. – 2009. – № 10. – С. 31–32.
263. Раднаев Д. Н. Условия применения показателей эффективности посевных агрегатов / Д. Н. Раднаев // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 3. – С. 141–146.
264. Романенко М. Ф. Перспективность широкозахватных посевных агрегатов / М. Ф. Романенко, В. А. Насонов, Е. С. Артамонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 1. – С. 22–24.
265. Соло для сеялки // Современная сельскохозяйственная техника. – 2007. – №1. – С. 40–42.
266. Сысолин П. Прямой посев зерновых культур – это дань моды или необходимость для сельских тружеников? / П. Сысолин, В. Сало // Техніка АПК. – 2008. – С. 18–21.

267. Хорунженко В. Е. Технологические основы создания посевных машин и перспективы развития зерновых сеялок / В. Е. Хорунженко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 11. – С. 44–46.
268. Чичкин В. Н. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты (теория, конструкция, расчёт) / В. Н. Чичкин. – Кишинёв : Штиинца, 1984. – 392 с.
269. Коваль В. Я. Совершенствование процесса высева семян сахарной свеклы высевающими системами пневматического действия : дисс. … канд. техн. наук : 05.20.01 / Коваль Виктор Яковлевич. – Краснодар, 1986. – 205 с.
270. Свірень М. О., Лещенко С. М. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів висівних апаратів для систем точного землеробства / М. О. Свірень, С. М. Лещенко // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2012. – № 41. – С. 210–220.
271. Щеглов А. В. Повышение эффективности технологического процесса пунктирного высева семян подсолнечника струйной пневмомеханической системой: дисс. … кандидата техн. наук : 05.05.11 / Щеглов Андрей Викторович. – Луганск, 2009. – 197 с.
272. Belodedov V. Parameter optization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation / V. Belodedov, P. Nosko, G. Boyko, P. Fil, M. Mazneva // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Vol. 13., № 4. – Lublin, 2013. – pp. 18–24.
273. Belodedov V., Nosko P., Fil P., Stavitskiy V. Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one–seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding / V. Belodedov, P. Nosko, P. Fil, V. Stavitskiy // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2007. – V. VII. – pp. 31–37.
274. Fluid power helps feed the world // Hydraulics&Pneumatics.–1978.–№11.– pp.55.
275. Frerichs L. Sätechnik / L. Frerichs // Jahrbuch Agrartechnik, 2013. – Band 25. – pp. 100–101.
276. Garbers H. Digitale Zukunft braucht Lösungen, nicht Schlagworte / H. Garbers // Landtechnik. – 2015. – № 70 (6). – pp. 218–220.

277. Genauer Drillen mit Electronikregelung // Agrartechnik International. – 1983. №11. – pp. 30–31.
278. Gevko B. Grounding of subsoil–throwing sowing of grain–crops / B. Gevko, O. Lashuk, Y. Pavelchuk // Fundamentalis sciantiam. – 2017. – №2(3). –pp.106–111.
279. Karner J. Hybridsysteme für die Landtechnik / J. Karner, M. Baldinger, P. Schober, B. Reichl, H. Prankl // Landtechnik. – 2013. – № 68 (1). – pp. 22–25.
280. Kogler F. Mobiler Zapfwellengenerator für landwirtschaftliche Anwendungen / F. Kogler, G. Kalteis, J. Heissenberger, H. Prankl // Landtechnik. – 2014. – № 69 (3). – pp. 147–151.
281. Köller K. Trends bei Saat und Mineraldüngung / K. Köller // Landtechnik. – 2003. – № 58 (6). – pp. 358–359.
282. Meinel T. Sätechnik // Jahrbuch Agrartechnik. – 2013. – Band 25. – pp. 1–9.
283. Nacke E. Das Management der Knappheiten / E. Nacke // Landtechnik. – №70. – 2015. – pp. 82–83.
284. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199.
285. Remmele E. Regenerative Energieträger und alternative Antriebskonzepte für mobile Arbeitsmaschinen / E. Remmele, H. Eckel, B. Widmann // Landtechnik. – 2014. – № 69 (5). – pp. 256–259.
286. Schmittmann O. Entwicklung eines Präzisions–sägeräteantriebs zur koordinaten–gesteuerten Ablage von Saatgut / O. Schmittmann, H. Kam, P. S. Lammers // Landtechnik. – 2010. – № 4. – pp. 286–289.
287. Tetzlaff S. Schnittstellenübergreifende Elektrifizierung und Funktionen von Traktor und Anbaugerät / S. Tetzlaff // Landtechnik. – 2015. – № 70 (5). – pp. 203–217.
288. Wegener J. K. Neue Pfanzenbausysteme entwickeln – welche innovativen Techniken werden benötigt? / J. K. Wegener, L. M. Urso, D. v. Hörsten, T. F. Minßen, C. C. Gaus // Landtechnik. – 2017. – № 72 (2). – pp. 91–100.

289. Weiste H. Die Entwicklung der pneumatischen Sätechnik / H. Weiste // Jahrbuch Agrartechnik, 2014. – pp.11.
290. Weltzien C. Digitale Landwirtschaft – oder warum Landwirtschaft 4.0 auch nur kleine Brötchen backt / C. Weltzien // Landtechnik. –2016. – №71(2). – pp.66–68.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Агафонов К. П. Рабочая скорость и энергетика машинно-тракторного агрегата / К. П. Агафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1979. – № 5. – С. 12–15.
2. Агафонов К. П. Эффективность и мощность машинно-тракторного агрегата / К. П. Агафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1981. – № 5. – С.12–14.
3. Агрегат универсальный посевной. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_883a49a6–53c8–4699–a36c–a7ff8408d09f
4. Агротек. Технология. Развитие. Будущее. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://agrtek.ru/
5. Агротехника. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://agrotecnica.com.ua /agro/products/67/Gigante.html
6. Александров В. И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / [В. И. Александров, И. П. Безручкин, А. М. Борисов и др.]; под ред. М. И. Клецкина. – Т. 2. – М. : Машиностроение, 1967. – 830 с.
7. Александров И. К. Сопоставление балансов энергопотребления машин непрерывного и периодического действия / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 15–16.
8. Анилович В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов : [справочное пособие] / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 451 с.
9. Астафьев М. И. Улучшение эксплуатационных показателей тракторов / М. И. Астафьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 3. – С. 37–40.

10. Астахов В. С. Анализ распределителей семян для пневматических сеялок / В. С. Астахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 5. – С.31–33.
11. Аулин В. В., Панков А. А. Исследование показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок : матеріали XI Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 119-120.
12. Аулин В. В. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 2. – С. 116–119.
13. Аулин В. В. Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільгоспмашин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, Ч. 1. – С. 40–46.
14. Аулин В. В. Функционально–структурный анализ системы управления нормой высева в информационной системе земледелия / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 22-24 ноября 2017 года). – Минск, БГАТУ. – 2017. – С. 72–74.
15. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1976. – № 5. – С. 4–7.
16. Басин В. С. Анализ факторов, определяющих эффективность широкозахватных сеялок / В. С. Басин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 8. – С. 18–21.
17. Беляев Е. А. Новая система машин для комплексной механизации производства зерновых культур / Е. А. Беляев, А. Ф. Омутов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 4. – С. 17–19.

18. Бойко А. І. Модель функціонування пневматичної висівної системи для технологій точного землеробства / А. І. Бойко, М. О. Свірень // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – Вип. 36. – С. 13–18.
19. Бондаренко Н. Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Николай Григорьевич Бондаренко. – [изд. 2–е, доп. и перераб.]. – К.: Вища школа, 1983. – 234 с.
20. Бородин И. Ф. Роль энергии в развитии земледельческой механики / И. Ф. Бородин // Земледельческая механика на рубеже столетий. Сборник докладов пленарного заседания международной конференции. – Таврическая государственная агротехническая академия (ТГАТА), 2001. – С.37–42.
21. Бузенков Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
22. Волков Б. Г. Прогнозирование социально-экономического предела повышения мощности сельскохозяйственных тракторов / Б. Г. Волков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 9. – С. 4–6.
23. Волошин М. Перспективна техніка для посіву дрібнонасінних культур: сівалки СЗТ–5,4 та СЗ–5,4–06 “Клен” / М. Волошин // Техніка АПК. – 2008. – № 3–4. – С. 36–38.
24. Гаврилов Ф. И. Оптимизация технологических емкостей распределительных сельхозмашин / Ф. И. Гаврилов, В. Ф. Гаврилова // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 5. – С. 21–22.
25. Гусар В. Статистичні моделі зміни технічного забезпечення АПК України / В. Гусар // Техніко–технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ «Український науково–дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого). – Дослідницьке, 2014. – Вип.18 (32), кн.1. – С. 49–55.

26. Гуськов В. В. Тракторы. Ч.II. Теория / В. В. Гуськов. – Мн. : Вышейш. школа, 1976. – 381 с.
27. Гуськов В. В. Тракторы. Ч.III. Конструирование и расчет / В. В. Гуськов, И. П. Ксеневич, Ю. Е. Атаманов, А. С. Солонский : Под общ. ред. В. В. Гуськова. – Мн. : Вышейш. школа, 1981. – 383 с.
28. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – М. : Стройиздат, 1981. – 319 с.
29. Денисов А. А. Рациональное использование мощных тракторов / А. А. Денисов, Ю. А. Тырнов, С. Ф. Нефедченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 5. – С. 44.
30. Енергоощадні технології в ефективному рослинництві. Тематична добірка науково–технічних праць співробітників УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого за 2002–2005 рр. – Дослідницьке, 2006.
31. Жук В. В. Пневматическая зерновая сеялка СЗПЦ-12 / В. В. Жук, А. В. Божор, Н. И. Любушко, В. А. Юзбашев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 12. – С. 32–33.
32. Жук В. В. Широкозахватные пневматические сеялки–культиваторы для почвозащитных технологий / В. В. Жук, Л. И. Кондратец, Л. Г. Суворова, В. И. Кудряшова // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 2. – С. 62–64.
33. Жук З. Я., Методические основы прогнозирования развития сельскохозяйственной техники / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 10. – С. 1–6.
34. Жук З. Я. Прогнозные исследования основных групп сельхозмашин / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 12. – С. 6–12.
35. Журавлев Б. И. Пневматические сеялки / Б. И. Журавлев : [серия «Сельскохозяйственное машиностроение»]. – М. : 1966. – 86 с.
36. Зангиев А. А. Обоснование оптимальной вместимости технологических емкостей / А. А. Зангиев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 3. – С. 33–36.

37. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов : [2 - е изд., испр. и доп.] / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
38. Зерновая сеялка СЗУ–6. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://souzbelagro.ru/seyalka_zernovaya_ universalnaya_szu
39. Зерновая сеялка СЗФ–4000–V. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://favorit–td.com.ua/p385097009–seyalka–szf–4000.html
40. Зерновые сеялки Bomet. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www. hermes –rostov.com/kategoriya–kataloga–posevnaya–tekhnika–grain–bomet.php
41. Зерновые сеялки Харвест 540 и Харвест 360. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://agrompk.com.ua/articles/13123–zernovie–seyalki–harvest.html
42. Злотин Б. Л. Законы развития и прогнозирование технических систем : [методические рекомендации] / Б. Л. Злотин, А. В. Зусман. – Кишинёв : Картя Молдовеняскэ, 1989. – 114 с.
43. Зырянов В. А. Перспективные широкозахватные посевные агрегаты / В. А. Зырянов, Н. Г. Цыбуля // Техника в сельском хоз-ве. – 1991. – № 3. – С. 52–54.
44. Иванов И. Ф. Использование логистической кривой для оценки стоимости компании на развивающемся рынке / И. Ф. Иванов // Корпоративные финансы. – 2008. – № 1 (5). – С. 47–62.
45. Идеален для широких просторов // Современная сельскохозяйственная техника. – 2007. – № 2. – С. 96–97.
46. К вопросу обоснования оптимальных параметров посевных машин / Под ред. М. Е. Мацепуро // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Т.XVI. – Минск : Урожай, 1967. – 356 с.
47. Каменев А. Ф. Технические системы: закономерности развития / А. Ф. Каменев. – Л.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
48. Каталог 2006. Kuhn Україна. – Київ, 2006.
49. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел : [2 - е изд., перераб. и доп.] / Г. К. Клейн. – М. : Стройиздат, 1977. – 256 с.
50. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль // Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту. – Луганськ: Видавництво ЛСГІ, 1998. – № 2(4). – С. 23–29.

51. Коваль В. Я. Решение третьей задачи виброреологии путем аппроксимации теоретических данных и обобщения полученных результатов для различных сыпучих сред / В. Я. Коваль, Н. И. Волошко, А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КДТУ. – Вип.10. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 59–63.
52. Коваль В. Я. Определение силы бокового давления семян подсолнечника на стенку неглубокого сосуда / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 76–84.
53. Коженкова К. И. Технология механизированных сельскохозяйственных работ : [учебное пособие] / К. И. Коженкова, Ю. В. Будько, Г. Ф. Добыш. – Мн.: Ураджай, 1987. – 370 с.
54. Лебедев И. В. Элементы струйной автоматики / И. В. Лебедев, С. Л. Трескунов, В. С. Яковенко. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
55. Либцис С. Е. Статистическая оценка мощности и удельной массы сельскохозяйственных тракторов / С. Е. Либцис, Т. А. Кузько // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 2. – С. 8–11.
56. Литвинов В. Н. Выбор основных параметров и показателей сеялок централизованного высева с использованием метода экспертных оценок / В. Н. Литвинов, В. А. Матвеева, В. В. Логин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 10. – С. 33–36.
57. Ломакин С. Г. Тенденции развития конструкций посевных машин в СССР и за рубежом / С. Г. Ломакин, Е. Л. Ревякин // Обзорная информация ЦНИИТЭИ. – М.: Сельхозтехника. – 1975. – 91 с.
58. Любушко Н. И. Тенденции развития конструкций зерновых сеялок / Н. И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 1. –1991. – С. 3–7.
59. Любушко Н. И. Высевающая система для пневматических зерновых сеялок и комбинированных машин / Н. И. Любушко, И. Е. Внуков, В. И. Мишин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 7. – С. 24–27.

60. Любушко Н. И. Зернотуковая сеялка СЗПП-4 прямого посева /Н. И. Любушко, И. С. Имамов, В. И. Мишин, А. В. Божор, Н. Г. Жердиев, В. И. Четверик // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 7. – С. 43–45.
61. Любушко Н. И. Увеличение ширины захвата зерновых сеялок / Н. И. Любушко, П. Ф. Тулапин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 4. – 1977. – С. 16–17.
62. Любушко Н. И. Тенденции развития технического уровня зерновых сеялок / Н. И. Любушко, В. Е. Хорунженко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 8. – С. 25–31.
63. Любушко Н. И. Направления развития конструкций зерновых сеялок / Н. И. Любушко, В. А. Юзбашев, Б. Ф. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1985. – № 2. – С. 45–50.
64. Мазитов Н. К. Посевной комбайн «Уралец» / Н. К. Мазитов, Х. Г. Асхадуллин, Н. Т. Хлызов, И. Р. Рахимов, С. В. Стоян, В. Н. Коновалов // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 2. – С. 20–22.
65. Мазитов Н. К. Эволюция посевных комбайнов / Н. К. Мазитов, М. В. Боровицкий, Г. В. Хаецкий, Н. Т. Хлызов, З. С. Рахимов, А. Г. Мирсаетов, Ф. М. Садриев, Р. Л. Сахапов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 3. – С. 3–5.
66. Механические сеялки «John Deere» модель 455. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://urozhai.ru/pdc/agriculture/ seeder/mechanical/mechanical_john _deere/mechanical_john_deere_455/
67. Навесная сеялка Amazone D9. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.tria–agro.com/shop/mechanical_sowing_ machinery_102724/navesnaya _seyalka_amazone_d9_1030.html
68. Надыкто В. Т. Прогноз развития энергонасыщенности сельскохозяйственных тракторов / В. Т. Надыкто, Е. В. Величко // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2015. – Випуск № 1 (100) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2015. – С. 147–151.
69. Негожий В. Вибір за господарем / В. Негожий // Агровісник України. – 2006. – № 2. – С. 22–24.

70. Нечипорук Д. В. Особенности технологии Data mining / Д. В. Нечипорук // Молодой исследователь Дона. – 2017. – № 1 (4). – С. 62–65.
71. Николис Д. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление / Д. Николис. – М.: Мир, 1989. – 488 с.
72. Овсянников С. А. Совершенствование технологического процесса механизированного посева семян зерновых культур машиной с электромагнитной системой дозирования норм высева : автореферат дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельского хозяйства» / С. А. Овсянников. – Зерноград, 2000. – 23с.
73. Овсянников С. А. Эксплуатационно-технологические показатели посевного агрегата на базе сеялки СЗС–6 / С. А. Овсянников, С. В. Цымбаленко, А. А. Овсянников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – № 5. – С. 31–32.
74. Панков А. О. Підвищення якості технологічного процесу сівби насіння круп’яних культур мобільною струминною дозуючою системою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01 ”Механізація сільськогосподарського виробництва” / А. О. Панков. – Луганськ, 2000. – 18 с.
75. Панов И. М. Пути повышения производительности пахотных агрегатов / И. М. Панов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1985. – № 7. – С. 21–25.
76. Петрук А. Универсальная сеялка для всех типов культур / А. Петрук // Техніка АПК. – 2006. – № 8. – С. 8–9.
77. Петрусов А. И. Машины для посева, посадки и внесения удобрений. (Теория, конструкции и расчет) / А. И. Петрусов, В. Е. Комаристов. – Харьков, изд–во ХГУ им. А. М. Горького, 1960. – 220 с.
78. Пневматическая сеялка–культиватор «Сириус–10» производства ОАО «Червона зірка» // Техніка АПК. – 2008. – № 3–4. – С. 28–29.
79. Пневматическая сеялка–культиватор Сириус–10. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.avtomash.ru/torgzal /scht/cst/siriuc10.htm
80. Пневматические зерновые сеялки «Донэйр» : [проспект ООО «Фирма Агрохиммаш»]. – 5 с.

81. Пневматические рядовые сеялки Solitair : [проспект фирмы Lemken GmbH @ Co]. – 2007. – 16 с.
82. Пневматична сівалка для зернових культур Kverneland Accord : [проспект ЗАТ Компанія «Райз»]. – 2 с.
83. Погорелый Л. В. Сельскохозяйственная техника и технологии будущего / Л. В. Погорелый. – К. : Урожай, 1988. – 176 с.
84. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : [учеб. пособие для студентов вузов] / Юрий Викторович Подураев. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
85. Поляк А. Я. Эксплуатация МТА на повышенных скоростях / А. Я. Поляк, А. Д. Щупак. – М. : Колос, 1973. – 300 с.
86. Посевной комплекс «Златник». [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://agrodiler.com/produkciya/lkmz/pochvoobrabatyvayushhaya–texnika/ posevnoj–kompleks–zlatnik/posevnoj–kompleks–zlatnik.html
87. Посевной комплекс ATD 18.35, ATD 11.35, ATD 9.35 : [проспект фирмы Horsch Агро–союз]. – Корпорация «Агро–союз», 2006. – 8 с.
88. Проспект фирмы Horsch Maschinen GmbH. Pronto AS. – 2006. – 12 с.
89. Проспект фирмы Horsch Maschinen GmbH. Pronto DC. – 2007. – 10 с.
90. Проспект фирмы Sfoggia. – 2 с.
91. Репетов А. Какой агрегат выгоднее? / А. Репетов // Сельский механизатор. – 1986. – № 4. – С. 10.
92. Сверчук Г. С. Научные основы повышения рабочих скоростей машинно–тракторных агрегатов / Г. С. Сверчук // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 22,57.
93. Семенкин Е. С. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем : [конспект лекций] / Е. С. Семенкин, М. Н. Жукова, В. Г. Жуков, И. А. Панфилов, В. В. Тынченко. – Красноярск, 2007. – 515 с.
94. Сеялка John Deere 455. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://selhoztehnik.com/seyalka–john–deere–455
95. Сеялка Lemken Saphir 7. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://daman.com.ua/index/sejalka_lemken_ saphir_7/0–89

96. Сеялка Speedliner–300, Speedliner–400, Speedliner–600. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.oborudunion.ru /seyalka–speedliner–300–speedliner–400–speedliner–600–1000098977
97. Сеялка зерновая MF–30. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://auto.inforico.com.ua/selhoztehnika–c1061/seyalki–c1077/prodam–seyalka–zernovaya–MF–30–4m–a1415345839373507.html
98. Сеялка зерновая механическая John Deere 750. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.oborudunion.ru /seyalka–zernovaya–mehanicheskaya–john–deere–750–1000226031
99. Сеялка зерновая механическая Сапфир. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.oborudunion.ru/seyalka–zernovaya–mehanicheskaya–sapfir–1000018250
100. Сеялка зерновая механическая СЗМ «Ника–4». [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://i–agro.com.ua/p57023592–seyalka–zernovaya–mehanicheskaya.html
101. Сеялка зернотравяная Агритекс СЗМ-400. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.oborudunion.ru/seyalka–zernotravyanaya–agriteks–szm–400–999805480
102. Сеялка зернотуковая Grain-3,6. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://vesta–agro–servis.pp.ua/grain36.php
103. Сеялка механическая GASPARDO-MEGA 600. [Електронний ресурс]. Режим доступу:http://miragro.com/seyalka–mekhanicheskaya–gaspardo–mega–600.html
104. Сеялка механическая Gaspardo Nina. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.dat.kiev.ua/katalog/selhozmashiny/gaspardo–nina–seyalka–mehanicheskaya/
105. Сеялка травяная СТН-2,4. Кировоградский ПКИ. – Кировоград : Редакционно–издательский отдел облполитграфиздата, 1990. – 2 с.
106. Сеялки Unia. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://centrregion76.ru/docs/unia_seyalki.pdf
107. Сеялки зерновые 2BFX. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://vladgreenline.com/p45401685–seyalka–zernovaya–2bfx.html

108. Сеялки зерновые Bozkurt. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.zemmash.com/group/452
109. Сеялки механические прицепные Premia 9000 TRC. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.kuhn.ua/internet/prospectus.nsf/ProspectusParCode Langue /B86804DDB7179497C125802000258583/$File/920271_RU.pdf
110. СЗПН-6 : [проспект НПО Почвосевмаш «Лан»]. – 2 с.
111. Сівалка Gaspardo Maria SC 400. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://kirovograd.flagma.ua/siyalka–gaspardo–maria–sc–400–o1919860.html
112. Сівалки Great Plains для ведення безорного висівання // Пропозиція. – 2005. – № 2. – С. 104–108.
113. Скотников В. А. Проблемы современного сельскохозяйственного тракторостроения / В. А. Скотников, А. А. Мащенский, М. А. Разумовский, Л. К. Чучалин. – Мн.: «Вышэйш. школа», 1983. – 208 с.
114. Слепов В. А. Экономические проблемы механизации сельского хозяйства / В. А. Слепов, А. В. Рубцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 4. – С. 1–3.
115. Справочник по скоростной сельскохозяйственной технике / А. Я. Поляк, А.Д. Щупак, Н. М. Антышев и др. – М. : Колос, 1982. – 284 с.
116. Сравниваем посевные агрегаты с механическим дозированием семян. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://agrovesti.net/technika_i_oborudovanie/sravnivaem_posevnie_agregati_s_mechanicheskim_dozirovaniem_semyan.html
117. Средние посевные комплексы Agrator. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://agrospectehnika.kz/produktsiya–podrobnaya–informatsiya/posevnaya–tekhnika/item/79–srednie–posevnye–kompleksy–agrator/79–srednie–posevnye–kompleksy–agrator
118. Степанов Р. Г. Технология Data Mining: Интеллектуальный анализ данных / Р. Г. Степанов. – Казань, 2009. – 57 с.
119. Сысолин П. В. Этапы развития отечественных зерновых сеялок / П. В. Сысолин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1979. – № 6. – С.16–17.

120. Сысолин П. В. Составление оптимальных посевных агрегатов / П. В. Сысолин, В. М. Глух, Б. Ф. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1981. – № 6. – С. 17–19.
121. Тулапин П. Ф. Увеличение вместимости бункеров зернотуковой сеялки / П. Ф. Тулапин, Н. И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 10. – С. 20–21.
122. Федосеев Б. В. Механизированная технология возделывания и уборки бобовых культур / Б. В. Федосеев. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 184 с.
123. Филиппьев Л. Н. Зернотуковая сеялка СЗО–3,6 / Л. Н. Филиппьев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 6. – С. 31.
124. Финн Э. Сельхозтехника 97 : [справочник–каталог предложений мирового рынка] / Э. Финн, С. Бородин, П. Хоммер. – К.: Компания «Юнивест Маркитинг», 1997. – Т. 1. – 182 с.
125. Хоменко М. С. Механизация посева зерновых культур и трав : [справочник] / М. С. Хоменко, В. А. Зырянов, В. А. Насонов. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.
126. Червона Зірка // Періодичне видання Кіровоградського відкритого акціонерного товариства «Червона Зірка» по виробництву сільськогосподарської техніки. – 02/97. – №1. – 4 с.
127. Черепухін В. Експлуатаційно–технологічні показники перспективних МТА в нових технологіях вирощування зернових культур / В. Черепухін, С. Паєвський, О. Кочев // Техніка АПК. – 2008. – № 9–10. – С. 25–29.
128. Чубукова И. А. Data Mining : [курс лекций интернет–университета INTUIT] / И. А. Чубукова. – 2006. – 328 с.
129. Автухов И. В. Методика технологического расчета многоструйного пневматического разбрасывателя минеральных удобрений / И. В. Автухов, Л. К. Лесничий // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. – 1974. - № 4. – С. 19–22.
130. Адуов М. А. Обоснование параметров семяпровода сеялки для подпочвенного разбросного посева / М. А. Адуов, С. Н. Капов, С. А. Нукушева // Вестник науки КазАТУ им. С.Сейфуллина. – 2011. – № 3 (70). – С. 68-74.

131. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В.А. Вальков // Достижения Науки и Техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 44–48.
132. Анискевич Л. В., Попович А. Н. Принципы построения высевающих систем в точном земледелии : материалы Международной научно-технической конференции [«Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве»], (Минск, 22–23 октября 2014 г.). – В 3 т. Т. 2. – РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редколлегия: П. П. Казакевич (гл. ред.), С. Н. Поникарчик. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 32–26.
133. Астахов В. С. Пневматические системы централизованного высева / В. С. Астахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 9. – С. 12–14.
134. Астахов В. С. Принципиально новые распределители семян / В. С. Астахов, А. С. Сентюров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – № 10. – С. 27–31.
135. Аулин В. В. Исследование выброса семян пропашных культур пневмоструйным высевающим аппаратом / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 221–225.
136. Аулин В. В. Исследование формирования исходного потока семян пневмодозатором пунктирного высева / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 2. – С. 27–32.
137. Аулин В. В. Конструктивно-компоновочные схемы высевающих систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України, м. Київ. – 2016. – № 1. – С. 142–147.
138. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1976. – № 5. – С. 4–7.
139. Батурин В. А. Обоснование параметров высевающей системы для припосевного дифференцированного внесения минеральных удобрений : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. технич. наук : спец. 05.20.01

«Механизация сельскохозяйственного производства» / В. А. Батурин. – Москва, 2012. – 24 с.

140. Беспамятнова Н. М. Управляемый синтез почвообрабатывающих и посевных машин по частотным характеристикам / Н. М. Беспамятова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 4. – С. 11–13.
141. Бормотов А. Н. Формирование критериев оценки эффективности при математическом моделировании качества композитов / А. Н. Бормотов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5–3. – С. 430–434.
142. Вилде А. Влияние скорости на сопротивление скольжению почвы по стальной поверхности / А. Вилде, А. Руциньш, Г. Севостяновс // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества : материалы Международной научно-практической конференции (10-11 июля 2008 г., г. Жодино). – Т. 1. – Минск, 2008. – С. 192-195.
143. Вишняков А. С. Исследование вибрационного высевающего аппарата зерновой сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков, В. А. Козлов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 1. – С. 44–46.
144. Вишняков А. С. Многоструйный вибрационный аппарат сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 3. – С. 3–5.
145. Внуков И. Е. Направления совершенствования высевающих систем зерновых пневматических сеялок / И. Е. Внуков, Н. И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйстенные машины. – 1988. – № 1. – С. 23–27.
146. Гребцов В. А. Высевающий аппарат с пнемосемяпроводом / В. А. Гребцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980. – №12. – С. 53–54.
147. Жукевич К. И. Оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий / К. И. Жукевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 6. – С. 4–5.

148. Зангиев А. А. Оптимизация энергонасыщенности трактора с учетом уплотняющего воздействия на почву / А. А. Зангиев // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 2. – С. 34–36.
149. Казаков В. С. Гидромеханическое моделирование почвообрабатывающих машин / В. С. Казаков // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 3. – С. 15.
150. Казаков В. С. Ньютон–Бернулли–Горячкин. Гидромеханические подобия / В. С. Казаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. - №4. – С.27-28.
151. Камбулов С. И. Оптимизация параметров семяпроводов высевающей системы сеялки / С. И. Камбулов // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 9. – С. 30–32.
152. Канарев Ф. М. Системный анализ в оценке технологий / Ф. М. Канарев, Е. А. Ковалева // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 2. – С. 46–47.
153. Карташов Л. П. Применение механико-математических моделей технологических процессов в качестве объектов системного исследования / Л. П. Карташов, В. Ю. Полищук, И. В. Минеева // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 24–25.
154. Козлов В. А. Комбинированный вибрационный высевающий аппарат зерновой сеялки / А. А. Вишняков, А. С. Вишняков, В. А. Козлов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 11. – С. 3–5.
155. Костюченков Н. В. Эксплуатационные свойства мобильных агрегатов : [учебное пособие] / Н. В. Костюченков, А. М. Плаксин. Под ред. А. М. Плаксина. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2010. – 204 с.
156. Крупенин А. В. Системный подход к синтезу критериев эффективности функционирования автоматизированной информационной сети критически важных объектов / А. В. Крупенин // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – № 9(86). – С. 176–181.
157. Ксеневич И. П. О системном методе прогнозирования параметров сельскохозяйственных агрегатов / И. П. Ксеневич, В. В. Гуськов, А. Т. Скойбеда // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – № 8. – С.3–5.

158. Куренков В. И. Методы исследования эффективности ракетно-космических систем. Методические вопросы / В. И. Куренков. – Самара, 2012. – 95 с.
159. Курилович К. К. К изысканию системы контроля пневматического централизованного высева / К. К. Курилович, П. Я. Котиков, Супел Януш // Исследования новых комбинированных машин и рабочих органов для обработки почвы и посева. Сборник научных трудов. - Горки, 1986.-С.55–60.
160. Нагирный Ю. П. Системный подход, цели и критерии в инженерной деятельности : [занятие 2] / Ю. П. Нагирный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1989. – № 9. – С. 9–12.
161. Панков А. А. Энергетические показатели рабочего процесса высевающих аппаратов и систем / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць ЦНТУ. – Вип. 30. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 28–36.
162. Плаксин А. М. Энергетика машинно-тракторных агрегатов : [учебное пособие] / Алексей Михайлович Плаксин. – Челябинск : ЧГАУ, 2005. – 215 с.
163. Полосинов С. А. Синтез интегральных оценочных критериев в задачах принятия решений : материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. – М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 7943–7954.
164. Романов И. П. Новое истолкование сопротивления качению колесного трактора / И. П. Романов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – №4. – С. 40.
165. Семенихина Ю. А. Вибродискретная высевающая система для высева семян кормовых трав различной степени сыпучести / Ю. А. Семенихина // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – №5 (10). – С. 168–172.
166. Сериков А. В. Эффективность управления проектами: определение, измерение, синергизм / А. В. Сериков, О. И. Ольховская // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технічний прогрес та ефективність виробництва. – Вестник НТУ "ХПИ", 2011. – № 8. – С. 102–116.
167. Сеялка “Клен–6” с параллелограммной подвеской сошников и прикатывающими катками : [руководство по эксплуатации. Паспорт]. – Общество с ограниченной ответственностью “Клен”. – 38 с.

168. Сухин В. С. Механико - технологические основы процесса дифференцированного высева семян пшеницы вибродискретными высевающими аппаратами автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 0520.01. «Механизация седьскохозяйственного производства» / В. С. Сухин. – Краснодар, 1988. – 23 с.
169. Сысолин П. Прямой посев зерновых культур – это дань моды или необходимость для сельских тружеников? / П. Сысолин, В. Сало // Техніка АПК. – 2008. – С. 18–21.
170. Токарев В. А. Пути повышения производительности посевных агрегатов / В. А. Токарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 35–37.
171. Хлыстов Е. Универсальная сеялка СЗП–3,6Б с дифференцированным высевом / Е. Хлыстов, А. Мжельский // Сельский механизатор. – 2006. – № 8. – С. 39.
172. Хорунженко В. Е. Технологические основы создания посевных машин и перспективы развития зерновых сеялок / В. Е. Хорунженко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 11. – С. 44–46.
173. Цугленок Н. В. Генетическое программирование энергетической эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов / Н. В. Цугленок, С. Ю. Журавлев // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – Вып. 9. – С. 190-197.
174. Чикильдин В. Н. Экспериментальные исследования высевающего аппарата с семяпроводом-ускорителем / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 2. – С. 66–69.
175. Bestellkombination. Drillmaschinen. Saatbettkombination. Sammelband Landtechnik Prüfberichte Deutsche Landwirtschafts – Gesellschaft. – Frankfurt am Main, 1998.
176. Eikel G. Mit Lüft im Aufbau / G. Eikel // Profi. Magazin für Agrartechnik. – 1998. – № 6. – pp. 50 – 53.
177. Kunisch M. Big Data in der Landwirtschaft – Perspektiven eines Daten-dienstleisters / M. Kunisch // Landtechnik. – 2016. – №71 (1). – pp. 1–3.

178. Mater Macc MSD. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://a–tera.com.ua/matermacc/matermacc–svalki/55–mater–macc–msd–500–600.html
179. Mechanische Drillmaschinen. Multidrill. – RabeWerk GmbH@Co, №1587e, 6/96. – pp. 12.
180. Pneumatiische Drillmaschinen Turbodrill 3m bis 6m Arbeitsbreite. – RabeWerk GmbH@Co, №1618, 9/96. – pp.8.
181. Pneumatik in grün // Profi. Magazin fur Agrartechnik. – 1997. – № 9. – pp. 30–34.
182. Theissen G. Magere Grundausstattung, reichhaltiges Zubehör / G. Theissen // Profi. Magazin fur Agrartechnik. – 1991. – № 6. – pp. 48–51.
183. Theissen G. Wenig Komfort, aber preiswert und zweckmässig / G. Theissen // Profi. Magazin für Agrartechnik. – 1991. – № 11. – pp. 26–29.
184. VN–Pneumadrill. Pneumatic seed drill : [проспект фирмы Vogel&Noot Landmaschinenfabrik AG]. – 2 с.
185. Weiste H. Die Entwicklung der pneumatischen Sätechnik / H. Weiste // Jahrbuch Agrartechnik, 2014. – pp. 11.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1976. – №5. – С. 4–7.
2. Беспамятнова Н. М. Управляемый синтез почвообрабатывающих и посевных машин по частотным характеристикам / Н. М. Беспамятова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 4. – С. 11–13.
3. Болотських О. С. Енергетична оцінка технологій виробництва огірків / О. С. Болотських, М. М. Довгаль // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 8. – С. 32–34.
4. Будко А. И. Оценка и прогнозирование экономической эффективности машин / А. И. Будко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1972. – №1. – С. 6–9.
5. Бузенков Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.

6. Гевко Б. М. Моделирование процесса дозирования сыпучих материалов / Б. М. Гевко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – №4. – С.41–42.
7. Глазьев Н. И. Теоретические и экспериментальные исследования пневматического высевающего аппарата сеялок / Н. И. Глазьев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1963. – № 11. – С. 22–25.
8. ГОСТ 26711 – 89. Сеялки тракторные. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.
9. ГОСТ 31345–2007 Сеялки тракторные. Методы испытаний. Межгосударственный стандарт. Tractor seeders. Test methods. МКС 65.060.30. Дата введения: 2009–01–01.
10. Денисов А. А. Пневматические и гидравлические устройства автоматики / А. А. Денисов, В. С. Нагорный. – М. : Высш. школа, 1978. – 214 с.
11. Дмитриев В. Н. Основы пневмоавтоматики / В. Н. Дмитриев, В. Г. Градецкий. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
12. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний: ОСТ 70.5.1 – 82. – М., 1982. – 156 с.
13. Кардашевский С. В. Высевающие устройства посевных машин / С. В. Кардашевский. – М. : Машиностроение, 1973. – 173 с.
14. Коваль В. Я. Совершенствование процесса высева семян сахарной свеклы высевающими системами пневматического действия : дисс. … канд. техн. наук : 05.20.01 / Коваль Виктор Яковлевич. – Краснодар, 1986. – 205 с.
15. Кокорин А. Ф. Основы испытаний сельскохозяйственной техники : [учебн. пособие] / А. Ф. Кокорин, А. В. Корепанов. – Челябинск, 2008. – 73 с.
16. Котенко С. С. Методичні особливості енергетичної оцінки технологій у сільському господарстві / С. С. Котенко // Механізація та електрифікація сільського господарства : [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 236–242.
17. Лебедев И. В. Элементы струйной автоматики / И. В. Лебедев, С. Л. Трескунов, В. С. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.

18. Лесниковский А. И. Оценка машин по обобщенному критерию качества / А. И. Лесниковский, Т. И. Сенченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – № 3. – С. 56–58.
19. Любушко Н. И. Методика оценки работы ЦВС зерновых сеялок на базе использования персональных компьютеров / Н. И. Любушко, С. А. Косарева, В. И. Мишин, И. Е. Внуков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1989. – № 1. – С. 15–16.
20. Максимов В. И., Максимов И. И. Энергетический подход к оценке почвообрабатывающих машин и орудий / В. И. Максимов, И. И. Максимов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 5. - 2008. – С. 25–28.
21. Масло І. Енергетична оцінка сільськогосподарського виробництва / І. Масло, М. Грицишин, О. Грибинюк, О. Шикірявий // Техніка АПК. – 1994. – № 6. – С.12–14.
22. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.
23. Менчер Э. М. Основы планирования эксперимента с элементами математической статистики в исследованиях по виноградарству / Э. М. Менчер, А. Я. Земшман. – Кишинев : Штиинца, 1983. – 240с.
24. Методика определения экономической эффективности законченных научно–исследовательских и проектно-конструкторских работ по сельскому хозяйству. – М.: ВАСХНИЛ; ВНИИЭСХ, 1977.
25. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. НИИ механизации сел. хоз-ва и др.; [Разраб. А. Н. Никифоров и др.]. – М. : ВИМ, 1995. – 95 с.
26. Миндрин А. С. Энергетические эквиваленты производства продовольствия / А. С. Миндрин // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1996. – №2. – С. 42–45.
27. Миндрин А. С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции: автореф. дисс. на соиск. научн. степени докт. экон. наук : 08.00.05

«Экономика и управление народным хозяйством» / Миндрин Алексей Семенович. – М.: ВНИЭТУСХ, 1997. – 36 с.

28. Мурзинов В. Л. Методы пневмоники в управлении струйными потоками в системах транспортирования на воздушной подушке / В. Л. Мурзинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ). – 2011. – № 74 (10). – С.25–34.
29. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / Панков А. А., Аулин В. В., Черновол М. И. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.
30. Панков А. А. Применение эжекторов в пневмоструйной технике агропромышленного комплекса / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч. І. – С. 326–329.
31. Панков А. О. Підвищення якості технологічного процесу сівби насіння круп’яних культур мобільною струминною дозуючою системою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01 ”Механізація сільськогосподарського виробництва” / А. О. Панков. – Луганськ, 2000. – 18 с.
32. Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати / В. І. Пастухов. – Харків : Ранок-НТ, 2003. – 100 с.
33. Петрусов А. И. Машины для посева, посадки и внесения удобрений. (Теория, конструкции и расчет) / А. И. Петрусов, В. Е. Комаристов. – Харьков, изд–во ХГУ им. А. М. Горького, 1960. – 220 с.
34. Попов А. Ю. Универсальный комплекс и метод определения показателей качества дозирования пневматических высевающих аппаратов / А. Ю. Попов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т.37, вып.3. – С. 160.
35. Попов В. С. Оборудование и методика проведения экспериментальных исследований высевающих аппаратов лесных сеялок / В. С. Попов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – С. 1–7.

36. Попов Ю. Пневмоника / Ю. Попов, Ю. Пухначев // Наука и жизнь. – 1965. – №1. – С. 10–18.
37. Салапура Ю. Л. Исследования пневматической высевающей системы централизованного дозирования посевного материала / Ю. Л. Салапура, В. П. Чеботарев, Д. В. Зубенко // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2015. – Випуск № 1 (100) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2015. – С. 78–85.
38. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.
39. Сёмин Д. А. Влияние типа и размера расчетных сеток на точность расчета течений в вихрекамерных нагнетателях / Д. А. Сёмин, А. С. Роговой // Вісник Нац. техн. ун–ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип.: Гідравлічні машини та гідроагрегати. Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser.: Hydraulic machines and hydrounits. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 41 (1213). – С. 70–77.
40. Скотников В. А. Практикум по сельскохозяйственным машинам / В. А. Скотников, В. Н. Кондратьев, Р. С. Сташинский. - Мн.: Ураджай, 1984. - 375 с.
41. Черновол М. И. Моделирование силовых пневмоструйных элементов высевающих аппаратов / М. И. Черновол, В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 4. – С. 175–179.
42. Чичкин В. Н. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты (теория, конструкция, расчёт) / В. Н. Чичкин. – Кишинёв : Штиинца, 1984. – 392 с.
43. Шахмаев М. В. Формирование машинного парка колхозов и совхозов / М. В. Шахмаев. – Агропромиздат, 1986. – 231 с.
44. Щеглов А.В. Исследование плоского эжектора / А. В. Щеглов // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2012. – № 35. – С. 224–227.
45. Щеглов А. В. Повышение эффективности технологического процесса пунктирного высева семян подсолнечника струйной пневмомеханической системой: дисс. … кандидата техн. наук : 05.05.11 / Щеглов Андрей Викторович. – Луганск, 2009. – 197 с.

46. Вишняков А. С. Исследование вибрационного высевающего аппарата зерновой сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков, В. А. Козлов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 1. – С. 44–46.
47. Вишняков А. С. Многоструйный вибрационный аппарат сеялки / А. С. Вишняков, А. А. Вишняков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 3. – С. 3–5.
48. Жарков В. В. Экспериментальное определение сыпучести сухих строительных смесей / В. В. Жарков, К. Н. Псёл, В. Ю. Токарев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 10. – С. 288–297.
49. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 109 с.
50. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта [учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.] / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
51. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов : [2 - е изд., испр. и доп.] / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
52. Ильина Т. Е. Проектирование элемента струйной системы управления газостатическим подшипником / Т. Е. Ильина, Н. В. Продан // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – Т.15, №5. – Издательство : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), 2015. – С. 921-929.
53. Козлов В. А. Комбинированный вибрационный высевающий аппарат зерновой сеялки / А. А. Вишняков, А. С. Вишняков, В. А. Козлов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 11. – С. 3–5.
54. Костюченков Н. В. Эксплуатационные свойства мобильных агрегатов : [учебное пособие] / Н. В. Костюченков, А. М. Плаксин. Под ред. А. М. Плаксина. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2010. – 204 с.
55. Масло І. Енергетична оцінка сільськогосподарського виробництва / І. Масло, М. Грицишин, О. Грибинюк, О. Шикірявий // Техніка АПК. – 1994. – № 6. – С.12–14.

56. Сухин В. С. Механико - технологические основы процесса дифференцированного высева семян пшеницы вибродискретными высевающими аппаратами автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 0520.01. «Механизация седьскохозяйственного производства» / В. С. Сухин. – Краснодар, 1988. – 23 с.
57. Тищенко С. С. Геометричне моделювання взаємодії поверхні грунтообробного робочого органу з грунтом / С. С. Тищенко, В. Н. Швайко, В. О. Гурідова // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2015. – Вип. 5. – Т. 2. - С. 91-96.
58. Хлыстов Е. Универсальная сеялка СЗП–3,6Б с дифференцированным высевом / Е. Хлыстов, А. Мжельский // Сельский механизатор. – 2006. – № 8. – С. 39.
59. Струйные логические элементы и устройства автоматического управления технологическим оборудованием / Ю. Г. Бурков, В. А. Горюнов, Г. Я.Кривошеев, Л. Ф. Шмелев. Под ред. Э. И. Чаплыгина. - М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 64 с.
60. Budde M. B. Erfassung und Bewertung der Einzelung von Feinstsämereien in Einzelkornsägeräten Entwicklung eines Prüfstandes zur Erfassung der Ablagegenauigkeit von Einzelkornsägeräten für Feinsämereien / M. B. Budde // Inaugural–Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.) der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich–Wilhelms–Universität Bonn, 2016. – pp. 130.
61. Toll Ch. Energieorientierte Analyse in der Getreideproduktion / Ch. Toll, H. J. Meyer // Landtechnik. – 2013. – № 68 (5). – pp. 327–332.
62. Zhu C. Saatgut pneumatisch verteilt / C. Zhu, A. Stroppel // Landtechnik. – 1996. – № 6. – pp. 320–321.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Аулин В. В. Конструктивно–компоновочные схемы высевающих систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 142–147.

2. Аулин В. В. Поточно–программное регулирование рабочих параметров мобильных технологических машин / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. Г. Стахорская // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Poland, Lublin, 2016. – Vol. 18, № 2. – pp. 25–32.
3. Аулин В. В. Программно–аппаратные средства дифференцированного дозирования технологических материалов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. Труды БГТУ. Серия 1. – Минск: БГТУ, 2017. – № 1 (192). – С. 23–33.
4. Аулин В. В. Выбор датчика скорости и надежность его работы в блоке управления струйной высевающей системой / В. В. Аулин, А. А. Панков // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017 – № 8. – С. 153–158.
5. Аулин В. В. Исследование формирования исходного потока семян пневмодозатором пунктирного высева / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 2. – С. 27–32.
6. Аулин В. В., Панков А. А. Перспективы применения универсальных модульных машин в растениеводстве : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 157–158.
7. Аулин В. В., Панков А. А. Пневмоструйные исполнительные элементы высевающих систем посевных машин : матеріали III Всеукраїнської науково–практичної конференції [«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»], (Житомир, 29–30 березня 2017 р.) / Міністерство освіти, ЖНАУ, 2017. – С. 6–8.
8. Аулин В. В. Надёжность рабочих процессов технических средств АПК с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, Т. Н. Замота // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 5. – С. 117–125.
9. Аулин В. В., Панков А. А., Стахорская А. Г. Управление дозирующими устройствами в информационных системах земледелия : матеріали IX

Міжнародної науково–практичної конференції [«Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси» (ІІРТК–2016)»], (Київ, 17-18 травня 2016 р.) / Міністерство освіти, К. : НАУ, 2015. – С. 193–195.

10. Аулин В. В. Исследование выброса семян пропашных культур пневмоструйным высевающим аппаратом / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 221–225.
11. Аулин В. В., Панков А. А., Щеглов А. В. Повышение эффективности рабочего процесса лесных сеялок на основе применения элементов и устройств пневмоструйной техники : материалы 81 научно–технической конференция профессорско–преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) [«Технология и техника лесной промышл.»], (Минск, 02-07 февраля 2017 г.) / Минск : БГТУ. – С.129–130.
12. Аулин В. В. Экспериментальные исследования струйного высевающего аппарата / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов, Г. И. Анистратов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 67–70.
13. Готлиб Б. М. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника». Курс лекций для студентов специальности 221000 «Мехатроника и робототехника» / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк. – Екатеринбург : Уральский государственный университетт путей сообщения, 2012. – 134 с.
14. Жавнер В. Л. Мехатронные системы : [учебное пособие] / В. Л. Жавнер, А. Б. Смирнов. – СПБ. : Издательство Политехнического ун-та, 2011. – 131 с.
15. Залманзон Л. А. Теория аэрогидродинамических систем автоматического управления / Лев Абрамович Залманзон. – М. : Наука, 1977. – 416 с.
16. Коваль В. Я. Результаты испытаний дозирующей системы пневматического действия / В. Я. Коваль, В. Е. Кириченко, А. В. Щеглов // Совершенствование технологического процесса и конструкций рабочих органов сельскохозяйственной техники. – Х.: ХГАУ, 1992. – С. 49–54.
17. Коваль В. Я. Результаты испытания односекционного струйного дозатора для семян сахарной свеклы / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛДАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, 1999. – № 4 (10). – С. 49–52.

18. Косик П. О. Мехатронні системи на сільськогосподарських мобільних агрегатах / П. О. Косик // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2009. – Випуск 93 / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2009. – С. 464–468.
19. Любашин Г. Я. Электроника на сельскохозяйственной технике / Г. Я. Любашин // Техника в сельском хозяйстве. – 1992. – № 2-3. – С. 7,13.
20. Мехатроника – что это такое? Основы мехатроники. Мехатроника и робототехника (специальность): кем работать? [Электронный ресурс]. – Режим доступу : fb.ru/article/235561/mehatronika––chto–eto–takoe–osnovyi–mehatroniki–mehatronika–i–robototehnika–spetsialnost–kem–rabotat
21. Омельченко Е. Я. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino / Е. Я. Омельченко, В. О. Танич, А. С. Маклаков, Е. А. Карякина // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 28–33.
22. Панков А. А. Актуальность и перспективы создания универсальных модульных машин для выращивания зерновых культур / А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. І. – С. 239–246.
23. Панков А. А. Возможности и задачи использования пневмоструйных устройств в технических средствах АПК : материалы IX Международной научно–практической конференции [«Проблемы горного дела и экологии горного производства»], (Антрацит, 24–25 апреля 2014 г.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2014. – С.206–208.
24. Панков А. А. Дифференцированный высев на основе элементной базы струйной пневмоавтоматики / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2003. – № 31/43. – С. 167–170.
25. Панков А. А. Применение элементов струйной техники в сельском хозяйстве, легкой и пищевой промышленности : матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 20 квітня 2012 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 47–51.

26. Панков А. А. Разработка и применение высевающих систем с элементами струйной пневмоавтоматики : матеріали VI Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 19 квітня 2013 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 65–67.
27. Панков А. А. Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 76–82.
28. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / Панков А. А., Аулин В. В., Черновол М. И. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.
29. Панков А. А. Перспективные направления в разработке и совершенствовании высевающих аппаратов рядковых сеялок / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 429–432.
30. Панков А. А. Целесообразность применения и теоретическое обоснование параметров активного вихревого распределителя семян / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Збірник наукових праць ЛДАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, 2001. – № 10/22. – С. 82–85.
31. Панков А. А. Преобразование выражений Булевой алгебры последовательным применением принципа двойственности / А. А. Панков, А. Е. Петренко, Ю. А. Корчанова // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 84–86.
32. Панков А. А. Совершенствование пневматических высевающих аппаратов / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Науковий вісник ЛНАУ. Спеціальний випуск. Серія Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2011. – № 30. – С. 338–341.
33. Панков А. О. Підвищення якості технологічного процесу сівби насіння круп’яних культур мобільною струминною дозуючою системою : автореф.

дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01 ”Механізація сільськогосподарського виробництва” / А. О. Панков. – Луганськ, 2000. – 18 с.

34. Пастухов В. І. До розробки мехатронних систем посівних машин / В.І. Пастухов, Н. В. Бакум, А. Д. Михайлов, Р. В. Кириченко / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Вип.156. – Харків, 2015. – С. 156–162.
35. Пат. 108787 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). -№u2016 01983; заявл. дата 29.02.2016; опубл.25.07.2016, Бюл.№14.
36. Пат. 112482 Україна, МПК A01C 7/04. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01982; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.
37. Пат. 114711 Україна, МПК A01C 7/12. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 10952; заявл. дата 31.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.
38. Пат. 115046 Україна, МПК A01C 7/12. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u2016 11776; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл.№7.
39. Пат. 115394 Україна, МПК A01C 7/00. Спосіб розподілення технологічного матеріалу / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, Т. М. Замота, А. В. Гриньків (Україна). - № u 2016 11778; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.
40. Пат. 116994 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 13580; заявл. дата 29.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.
41. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : [учеб. пособие для студентов вузов] / Юрий Викторович Подураев. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.

42. Подураев Ю. В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем / Ю. В. Подураев, В. С. Кулешов // Мехатроника. – 2000. – № 1. – С. 5–10.
43. Теряев Е. Д. Мехатроника как компьютерная парадигма развития технической кибернетики / Е. Д. Теряев, Н. Б. Филимонов, К. В. Петрин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – № 6. – С. 2–10.
44. Технические средства автоматизации. Часть 1. Пневматическая ветвь : [учебное пособие] / М. М. Мордасов, Д. М. Мордасов, А. В. Трофимов, А. А. Чуриков. – Тамбов : Издательствово Тамбовского государственного технического университетата, 2005. – 168 с.
45. Щеглов А. В. Нижняя подача семян присосками барабана из семенной камеры / А. В. Щеглов, А. А. Панков // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. – № 47. – С. 202–205.
46. А. с. № 1591836 А1 СССР, МПК А01С 7/04. Распределитель пневматической сеялки / В. И. Скорляков, Н. И. Любушко, И. Е. Внуков (СССР). – Заявл. дата 25.04.1988; опубл. 15.09.1990, Бюл. № 34.
47. Антощенков Р. В. Мехатронна інформаційна система машино-тракторного агрегату / Р. В. Антощенков, Р. Ю. Ковальов // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 107, т. 2. – С. 110–113.
48. Аулин В. В. Автоматизация регулирования нормы высева на основе мехатронной реализации программно-аппаратного обеспечения / В. В. Аулин, А.А. Панков, М. И. Черновол, А. Г. Стахорская // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 3. – С. 240–244.
49. Гайнанов Х. С. Проектирование и обоснование параметров делителей потока высевающего материала / Х. С. Гайнанов, М. М. Земдиханов // Казанский сельскохозяйственный институт. – С. 58–62.
50. Любушко Н. И. Развитие конструкций распределительных систем для пневматических сеялок централизованного высева / Н. И. Любушко, В. Н. Зволинский // Тракторы и сельхозмашины. – 1999. – № 2. – С. 20–23.

51. Панков А. А. Совершенствование дозирующих систем с элементами струйной техники для рядовых культур / А. А. Панков, В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 126–129.
52. Пат. 122243 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2017 07679; заявл. дата 20.07.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.
53. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199.
54. Meyer J. Tablet-PC erweitert die Maschinen-bedienung / J. Meyer, B. Johanning, H. Müller // Landtechnik. – №68 (1). – 2013. – pp. 10-13.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Дмитриев В. Н. Основы пневмоавтоматики / В. Н. Дмитриев, В. Г. Градецкий. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
2. Кузнецова М. К. Неравномерность высева семян зерновыми сеялками / М. К. Кузнецова, М. А. Виноградов, В. В. Жигайлов, А. Н. Варава // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1980. – № 7. – С. 17–18.
3. Лебедев И. В. Элементы струйной автоматики / И. В. Лебедев, С. Л. Трескунов, В. С. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
4. Любушко Н. И., Зволинский В. Н. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н. И. Любушко, В. Н. Зволинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 2. – С. 4–7.
5. Панков А. А. Применение эжекторов в пневмоструйной технике агропромышленного комплекса / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч. I. – С. 326–329.

6. Aulin V. V. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov, T. M. Zamota, K. K. Panayotov // INMATEH. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 53, № 3. – pp. 21–28.
7. Marquering J. Präzise Saat durch Körnerzähler Sensor / J. Marquering, B. Scheufler // Landtechnik. – 2006. – № 5. – pp. 248–249.
8. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199.

Список використаних джерел до розділу 6

1. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В.А. Вальков // Достижения Науки и Техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 44–48.
2. Агафонов К. П. Эффективность и мощность машинно–тракторного агрегата / К. П. Агафонов // Тракторы и сельскохозмашины. – 1981. – № 5. – С. 12–14.
3. Анилович В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов : [справочное пособие] / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 451 с.
4. Аулін В. В. Напрями розвитку висіваючих систем / В. В. Аулін, М. І. Черновол, А. О. Панков // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 54–58.
5. Басин В. С. Анализ факторов, определяющих эффективность широкозахватных сеялок / В. С. Басин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1976. – №8. – С. 18–21.
6. Бондаренко Н. Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Николай Григорьевич Бондаренко. – К.: Вища школа, 1983. – 234 с.
7. Віброгравітаційна висіваюча система. Пат. 21339 Україна, МПК A01C 7/04. / Н. Д. Висоцька, Д. Г. Вальянов (Україна). – опубл. 02.12.1997. – Режим доступу : http://uapatents.com/2–21339–vibrogravitacijjna–visivayucha–sistema.html

8. Внуков И. Е. Направления совершенствования высевающих систем зерновых пневматических сеялок / И. Е. Внуков, Н. И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйстенные машины. – 1988. – № 1. – С. 23–27.
9. Водолазов Н. К. Курсовое и дипломное проектирование по механизации сельского хозяйства / Николай Кириллович Водолазов. – М. : Агропромиздат, 1991. – 335 с.
10. Денисов А. А. Рациональное использование мощных тракторов / А. А. Денисов, Ю. А. Тырнов, С. Ф. Нефедченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – №5. – С. 44.
11. Догода П. А. Энергетический системный анализ работы виноградоуборочных комбайнов / П. А. Догода, В. И. Анищенко, Ю. А. Ефременко, Е. А. Кулебакин // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 6. – С. 15–17.
12. Жук В. В. Широкозахватные пневматические сеялки–культиваторы для почвозащитных технологий / В. В. Жук, Л. И. Кондратец, Л. Г. Суворова, И. В. Кудряшова // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 2. – С. 62–64.
13. Залманзон Л. А. Теория элементов пневмоники / Лев Абрамович Залманзон. – М.: Наука, 1969. – 508 с.
14. Косачев Г. Г. Экономическая оценка новой техники / Г. Г. Косачев, Е. М. Самойленко // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – № 2. – С. 51–55.
15. Котенко С. С. Методичні особливості енергетичної оцінки технологій у сільському господарстві / С. С. Котенко // Механізація та електрифікація сільського господарства : [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 236–242.
16. Лебедев И. В. Элементы струйной автоматики / И. В. Лебедев, С. Л. Трескунов, В. С. Яковенко. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
17. Любушко Н. И. Высевающая система для пневматических зерновых сеялок и комбинированных машин / Н. И. Любушко, И. Е. Внуков, В. И. Мишин // Тракторы и сельскохозяйстенные машины. – 1991. – № 7. – С. 24 – 27.
18. Марченко В. Методика визначення показників економічної ефективності використання комплексів машин та машинно-тракторного парку / В. Марченко // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 189–194.

19. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Экономика, 1977. – 46 с.
20. Миндрин А. Энергетические эквиваленты производства продовольствия / А. Миндрин // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1996. – № 2. – С. 42–45.
21. Небавский В. А. Обоснование оптимальных параметров и режима работы зерновой сеялки прямого посева / В. А. Небавский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 5. – С. 31–32.
22. Панков А. А. Сравнительный анализ эксплуатационных энергетических показателей работы высевающих аппаратов рядовых сеялок / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2005. – № 49/72. – С. 186–194.
23. Панков А. А. Энергетические показатели рабочего процесса высевающих аппаратов и систем / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць ЦНТУ. – Вип. 30. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 28–36.
24. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / Панков А. А., Аулин В. В., Черновол М. И. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.
25. Панков А. А. Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 25, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 61–68.
26. Петренко А. Е. Тенденции развития мобильных дозирующих систем сельскохозяйственных материалов / А. Е. Петренко, В. Я. Коваль // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Том 4. – Київ : НАУ, 1998. – 368 с.
27. Петрусов А. И. Машины для посева, посадки и внесения удобрений. Теория, конструкции и расчет / А. И. Петрусов, В. Е. Комаристов. – Харьков, изд–во ХГУ им. А. М. Горького, 1960. – 220 с.

28. Плешаков В. Н. Обоснование технического уровня и направлений развития сельскохозяйственной техники: дисс. ... доктора технических наук : 05.20.01 / Плешаков Вадим Николаевич. – Краснодар, 2001. – 529 с.
29. Самойлова Н. В. Методика энергоэкономической оценки сельскохозяйственного производства через энергетические эквиваленты стоимости продукции отраслей / Н. В. Самойлова // Известия ТСХА. – 2013. – Вып. 6. – С. 94–100.
30. Сербий В. К., Кушнарев С. А. Методика энергетической оценки комплексов машин : сборник докладов по материалам Международной научно – технической интернет-конференции [«Задачи земледельческой механики в XXI веке»], (Мелитополь, 2–10 ноября 2010 г.) / Дослідницьке – Мелітополь, 2011. – С. 179–185.
31. Сеялка “Клен–6” с параллелограммной подвеской сошников и прикатывающими катками : [руководство по эксплуатации. Паспорт]. – Общество с ограниченной ответственностью “Клен”. – 38 с.
32. Справочник по скоростной сельскохозяйственной технике / А. Я. Поляк, А.Д. Щупак, Н. М. Антышев. – М. : Колос, 1982. – 284 с.
33. Степанянц Э. Н. Определение оптимальных параметров пахотных агрегатов методом математического моделирования / Э. Н. Степанянц // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 4. – С. 31–32.
34. Сысолин П. В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование / П. В. Сысолин, Л. В. Погорелый. – К. : Феникс, 2004. – 266 с.
35. Трухачев Е. Д. Совершенствование процесса высева несыпучих семян кормовых растений травяными сеялками (на примере прутняка простертого) : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельского хозяйства» / Е.Д. Трухачев. –Ставрополь, 2015.– 22с.
36. Трухачев Е. Д. Энергетическая оценка привода устройства для высева несыпучих и слабосыпучих семян кормовых растений / Е. Д. Трухачев, В. Х. Малиев // Вестник АПК Ставрополья. – 2013. – № 04 (12). – С. 96–98.
37. Федотов И. Д. Применение устройства привода вала высевающих аппаратов зерновых сеялок для оценки их технологической готовности по параметрам

нормы равномерности высева / И. Д. Федотов, В. В. Вдовин, С. В. Стрельцов, А. В. Павлушин, В.П. Зайцев // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3 (Ч.3) – С. 388–389.

38. Фрейдкина Е. М. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения: [учебное пособие] / Е. М. Фрейдкина. – СПб. : СПбГТУРП, 2013. – 52 с.
39. Хоменко М. С. Механизация посева зерновых культур и трав : [справочник] / М. С. Хоменко, В. А. Зырянов, В. А. Насонов. – К. : Урожай, 1989. – 168 с.
40. Чичкин В. Н. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты (теория, конструкция, расчёт) / В. Н. Чичкин. – Кишинёв : Штиинца, 1984. – 392 с.
41. Яковчик С. Г. Анализ распределителей посевного материала пневматических зерновых сеялок / С. Г. Яковчик, Ю. Л. Салапура // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. – Минск, 2014. – Вып. 48, Т.1. – С. 3–10.
42. Костюченков Н. В. Эксплуатационные свойства мобильных агрегатов : [учебное пособие] / Н. В. Костюченков, А. М. Плаксин. Под ред. А. М. Плаксина. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2010. – 204 с.
43. Плаксин А. М. Энергетика машинно-тракторных агрегатов : [учебное пособие] / Алексей Михайлович Плаксин. – Челябинск : ЧГАУ, 2005. – 215 с.
44. Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати / В. І. Пастухов. – Харків : Ранок-НТ, 2003. – 100 с.
45. Раднаев Д. Н. Условия применения показателей эффективности посевных агрегатов / Д. Н. Раднаев // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 3. – С. 141–146.
46. Масло І. Енергетична оцінка сільськогосподарського виробництва / І. Масло, М. Грицишин, О. Грибинюк, О. Шикірявий // Техніка АПК. – 1994. – № 6. – С.12–14.
47. Гаврилов Ф. И. Оптимизация технологических емкостей распределительных сельхозмашин / Ф. И. Гаврилов, В. Ф. Гаврилова // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 5. – С. 21–22.
48. Grube J. Was kostet die Aussaat? / J. Grube, H. Seufert, R. Müller, U. Bauer // Landtechnik. – 2013. – № 58 (3). – pp. 130–131.

ДОДАТКИ

А. Код додатка «Еволюційне моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів»

Б. Характеристики конструкцій і робочого процесу зернотрав′яних сівалок з механічними висівними апаратами.

В. Характеристики матеріаломісткості зернотрав′яних сівалок з механічними висівними апаратами.

Д. Визначення питомого тягового опору зернових сівалок.

Е. Характеристики конструкцій і робочого процесу зернотрав′яних сівалок з пневматичними централізованими висівними системами.

Ж. Характеристики матеріаломісткості посівних машин з пневматичними централізованими висівними системами.

З. Код взаємодії платформи Arduino з сервоприводом і обчислювальним пристроєм.

К. Код обчислювального пристрою або програми-інтерфейсу оператора для управління нормою висіву.

Л. Список публікацій за темою дисертації.

М. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Н. Патенти України на корисні моделі.

Додаток А

Фрагмент програмного коду «Еволюційне моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів»

```
using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data;
using System.IO;
using System.Threading;

using AForge;
using AForge.Genetic;

namespace TimeSeries
{
    /// <summary>
    /// Summary description for Form1.
    /// </summary>
    public class MainForm : System.Windows.Forms.Form
    {
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
        private System.Windows.Forms.ListView dataList;
        private System.Windows.Forms.ColumnHeader
yColumnHeader;
        private System.Windows.Forms.Button loadDataButton;
        private System.Windows.Forms.OpenFileDialog
openFileDialog;
        private System.ComponentModel.IContainer components;
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox2;
        private TimeSeries.Chart chart;
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox3;
        private System.Windows.Forms.Label label1;
        private System.Windows.Forms.TextBox populationSizeBox;
        private System.Windows.Forms.Label label2;
        private System.Windows.Forms.ComboBox selectionBox;
        private System.Windows.Forms.Label label3;
        private System.Windows.Forms.ComboBox functionsSetBox;
        private System.Windows.Forms.Label label4;
        private System.Windows.Forms.ComboBox geneticMethodBox;
        private System.Windows.Forms.Label label5;
        private System.Windows.Forms.Label label6;
```

```
        private System.Windows.Forms.TextBox windowSizeBox;
        private System.Windows.Forms.Label label7;
        private System.Windows.Forms.TextBox predictionSizeBox;
        private System.Windows.Forms.Label label9;
        private System.Windows.Forms.TextBox iterationsBox;
        private System.Windows.Forms.Label label10;
        private System.Windows.Forms.Button startButton;
        private System.Windows.Forms.Button stopButton;
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox4;
        private System.Windows.Forms.Label label11;
        private System.Windows.Forms.TextBox
currentIterationBox;
        private System.Windows.Forms.Label label12;
        private System.Windows.Forms.TextBox
currentLearningErrorBox;
        private System.Windows.Forms.Label label13;
        private System.Windows.Forms.TextBox
currentPredictionErrorBox;
        private System.Windows.Forms.ColumnHeader
estimatedYColumnHeader;
        private System.Windows.Forms.Button moreSettingsButton;
        private System.Windows.Forms.ToolTip toolTip;

        private double[] data = null;
        private double[,] dataToShow = null;

        private int populationSize = 40;
        private int iterations = 100;
        private int windowSize = 5;
        private int predictionSize = 1;
        private int selectionMethod = 0;
        private int functionsSet = 0;
        private int geneticMethod = 0;

        private int headLength = 20;

        private Thread    workerThread = null;
        private bool  needToStop = false;

        private double[,] windowDelimiter = new double[2, 2] { {
0, 0 }, { 0, 0 } };
        private Label label8;
        private double[,] predictionDelimiter = new double[2,
2] { { 0, 0 }, { 0, 0 } };
```

```
          // Constructor
          public MainForm()
          {
               //
               // Required for Windows Form Designer support
               //
               InitializeComponent();

               //
               chart.AddDataSeries( "data", Color.Red,
Chart.SeriesType.Dots, 5 );
               chart.AddDataSeries( "solution", Color.Blue,
Chart.SeriesType.Line, 1 );
               chart.AddDataSeries( "window", Color.LightGray,
Chart.SeriesType.UnlimitedLine, 1 );
               chart.AddDataSeries( "prediction", Color.Gray,
Chart.SeriesType.UnlimitedLine, 1 );

               selectionBox.SelectedIndex      = selectionMethod;
               functionsSetBox.SelectedIndex   = functionsSet;
               geneticMethodBox.SelectedIndex  = geneticMethod;
               UpdateSettings( );
          }
          /// <summary>
          /// Clean up any resources being used.
          /// </summary>
          protected override void Dispose( bool disposing )
          {
               if( disposing )
               {
                    if (components != null)
                    {
                         components.Dispose();
                    }
               }
               base.Dispose( disposing );
          }


     #region Windows Form Designer generated code
          /// <summary>
          /// Required method for Designer support - do not
modify
          /// the contents of this method with the code editor.
```

Додаток Б

Характеристики конструкцій і робочого процесу зернотрав′яних сівалок з механічними висівними апаратами.

№	Марка	Макс. швидкість V_{max} , км/ч	Ширина захвату B, м	Теоретич. продукт. при V_{max}, га/г	Питома продукт. $W_{num.}$га/гм	Період виробниц-тва
1	2	3	4	5	6	7
1910 рр., дані, згідно [119]						
1	«Росія»	2,30	1,50	0,350	0,233	1917-1927
1920 рр., дані, згідно [119]						
1	«Росія»	2,30	1,50	0,350	0,233	1917-1927
1930 рр., дані, згідно [119]						
1	КДС-12	2,80	1,80	0,500	0,278	1938-1941
1940 рр., дані, згідно [119]						
1	КДС-12	2,80	1,80	0,50	0,278	1938-1941
2	СД-10	4,00	1,50	0,60	0,400	1944-1960
3	Т-8-2А	7,40	3,60	2,66	0,739	1944-1953
4	СД-24	4,50	3,60	1,62	0,450	1944-1957
5	СК-10	3,30	1,50	0,50	0,333	1947-1953
6	СУБ-48	5,80	3,60	2,09	0,583	1948-1955
7	СК-24	4,50	3,60	1,62	0,450	1949-1955
1950 рр., дані, згідно [119]						
1	СД-10	4,00	1,50	0,60	0,400	1944-1960
2	Т-8-2А	7,40	3,60	2,66	0,739	1944-1953
3	СД-24	4,50	3,60	1,62	0,450	1944-1957
4	СК-10	3,30	1,50	0,50	0,333	1947-1953
5	СУБ-48	5,80	3,60	2,10	0,583	1948-1955
6	СК-24	4,50	3,60	1,62	0,450	1949-1955
7	СЗТ-47	3,50	3,60	1,27	0,353	1950-1958
8	СЛ-44	7,40	3,30	2,44	0,739	1954-1957
9	СУ-24	7,40	3,60	2,66	0,739	1958-1959
10	СУЛ-48	5,60	3,60	2,02	0,561	1957-1959
11	СУК-24	7,40	3,60	2,66	0,739	1958-1961
12	СЗН-10	6,50	1,50	0,97	0,647	1959-1966
13	СЗН-16	6,50	2,40	1,56	0,650	1959-1966
14	СЗН-24	6,50	3,60	2,34	0,600	1959-1966
15	СЛН-20	5,60	1,50	0,84	0,560	1959-1960
16	СЛН-32	5,60	2,40	1,35	0,562	1959-1961
17	СЛН-48	5,60	3,60	2,02	0,561	1959-1963
1960 рр., дані, згідно [119]						
1	СД-10	4,00	1,50	0,60	0,400	1944-1960

2	СЗН-10	6,50	1,50	0,97	0,647	1959-1966
3	СЗН-16	6,50	2,40	1,56	0,650	1959-1966
4	СЗН-24	6,50	3,60	2,34	0,600	1959-1966
5	СЛН-20	5,60	1,50	0,84	0,560	1959-1960
6	СЛН-32	5,60	2,40	1,35	0,562	1959-1961
7	СЛН-48	5,60	3,60	2,02	0,561	1959-1963
8	СУЛ-48	5,60	3,60	2,02	0,561	1965-1973
9	СУК-24	7,40	3,60	2,66	0,739	1958-1961 1964-1971
10	СУТ-47	7,40	3,60	2,66	0,739	1966-1973
11	СЗП-24	10,5	3,60	3,78	1,050	1963-1964
12	СЗС-9	7,60	2,05	1,56	0,761	1965-1971
13	СЛН-48А	5,60	3,60	2,02	0,561	1966-1968
1970 рр., дані, згідно [119]						
1	СУЛ-48	5,60	3,60	2,02	0,561	1965-1973
2	СУК-24	7,40	3,60	2,66	0,739	1964-1971
3	СУТ-47	7,40	3,60	2,66	0,739	1966-1973
4	СЗС-9	7,60	2,05	1,56	0,761	1965-1971
5	СЗС-2,1	9,00	2,05	1,84	0,898	з 1970
6	СЗ-3,6	15,0	3,60	5,40	1,500	з 1970
7	СЗП-3,6	15,0	3,60	5,40	1,500	з 1971
8	СЗТ-3,6	12,0	3,60	4,30	1,194	з 1972
9	СЗУ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1972
10	СЗЛ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1973
11	СЗА-3,6	12,0	3,60	4,30	1,194	з 1973
12	СЛТ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1973
13	СРН-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1974
14	СЗГ-2,4	9,00	2,40	2,16	1,000	з 1974
	дані, згідно [57, 121]					
15	Saxonia A591	10,0	5,00	5,00	1,000	1975*
16	Fiona SD73	12,0	6,00	7,20	1,200	1975*
17	Lift-o-matic	15,0	6,00	9,00	1,500	1975*
18	Nodet	10,0	6,00	6,00	1,000	1975*
19	Roger 600	10,0	6,00	6,00	1,000	1975*
20	Roger 800	10,0	8,00	8,00	1,000	1975*
21	125-48	9,00	6,00	5,40	0,900	1975*
дані, згідно [97]						
22	MF-30	10,0	3,70	3,70	1,000	1978*
дані, згідно [123]						
23	СЗО-3,6	15,0	3,60	5,40	1,500	1970 рр.

1980 рр., дані, згідно [119]						
1	СЗС-2,1	9,00	2,05	1,84	0,898	з 1970
2	СЗ-3,6	15,0	3,60	5,40	1,500	з 1970
3	СЗП-3,6	15,0	3,60	5,40	1,500	з 1971
4	СЗТ-3,6	12,0	3,60	4,30	1,194	з 1972
5	СЗУ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1972
6	СЗЛ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1973
7	СЗА-3,6	12,0	3,60	4,30	1,194	з 1973
8	СЛТ-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1973
9	СРН-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	з 1974
10	СЗГ-2,4	9,00	2,40	2,16	1,000	з 1974
дані по технічним характеристикам сівалки СЗ-5,4						
11	СЗ-5,4	12,0	5,40	6,48	1,200	з 1980-х р.
дані, згідно [122]						
12	СГ-4	8,75	3,60	3,15	0,870	1984*
дані, згідно [63]						
13	Fortschritt A-201	12,0	3,00	3,60	1,200	1985*
14	Agrozet 40SI× DJ150	12,0	6,00	7,20	1,200	1985*
15	Raba IH-6200	12,0	4,31	5,17	1,200	1985*
16	Morris M10	12,0	3,05	3,66	1,200	1985*
17	СЗШП-7,2	10,0	7,20	7,20	1,000	1985*
18	Nordsten CKF-250	12,0	2,50	3,00	1,200	1985*
19	Juko 400	12,0	4,00	4,80	1,200	1985*
20	Simulta S-250	12,0	2,50	3,00	1,200	1985*
21	HKL 300	12,0	3,00	3,60	1,200	1985*
дані, згідно [62]						
22	Nordsten CLF 600	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
23	Great Plains SS20′	12,0	6,10	7,32	1,200	1986*
24	JD 520	12,0	6,10	7,32	1,200	1986*
25	Amazone EV-1000	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
26	Fortschritt A-221	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*

27	Tröstler Duas-H	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
28	Hestair	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
29	Massey-Ferguson	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
30	Horwood Bagshaw	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
31	Osborn	12,0	7,30	8,76	1,200	1986*
32	Ross DJ150	12,0	6,00	7,20	1,200	1986*
дані, згідно [60]						
33	СЗПП-4	12,0	3,90	4,68	1,200	1989*
дані, згідно [125]						
34	СЗС-2,1М	8,0	2,10	1,68	0,800	1989*
1990 рр.						
	дані, згідно [43]					
1	СМШ-7,2	10,0	7,2	7,20	1,000	1991*
	дані, згідно [72, 73]					
2	СЗС-6	12,0	6,00	7,20	1,200	з 1990-х р.
дані, згідно [175, 179, 182]						
3	Rabe Multidrill M300	8,50	3,00	2,50	0,833	1998*
4	Amazone AD 402 SN/SR	8,50	3,00	2,50	0,833	1998*
дані, згідно [126]						
5	СЗ-5,4	12,0	5,40	6,48	1,200	1997*
6	СЗ-5,4-06 «Клен»	12,0	5,40	6,48	1,200	1997*
7	СЗ-3,6А	12,0	3,60	4,32	1,200	1997*
8	СЗТ-3,6А	12,0	3,60	4,32	1,200	1997*
дані, згідно [183]						
9	Fiona R90	12,0	3,00	3,60	1,200	1991*
10	Amazone AD 301	12,0	3,00	3,60	1,200	1991*
11	Hassia DKA 300	12,0	3,00	3,60	1,200	1991*
12	Nordsten CLP 300	12,0	3,00	3,60	1,200	1991*
дані, згідно [101]						

13	Агрітекс СЗМ 400	12,0	4,00	4,80	1,200	1991*
дані, згідно [105]						
14	СТН-2,4	10,0	2,40	2,40	1,000	1990*
дані, згідно [124]						
15	Combi-Dan 2000	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
16	Combi-Dan 2000	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
17	Combi-Dan 2000	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
18	Apollo DR	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
19	Apollo DR	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
20	Apollo DR	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
21	Apollo DR	11,0	4,50	4,95	1,100	1997*
22	Astra SC	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
23	Astra SC	11,0	4,50	4,95	1,100	1997*
24	RP-AD 252	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
25	RP-AD 302	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
26	RP-AD 402	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
27	RP-AD 452	11,0	4,50	4,95	1,100	1997*
28	RP-AD 602	11,0	6,00	6,60	1,100	1997*
29	D8-60 “Super”	11,0	6,00	6,60	1,000	1997*
30	СЗК-3,6	10,0	3,60	3,60	1,000	1997*
31	Combinata	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
32	Combinata	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
33	Combinata	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
34	Directa 300	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
35	Directa 400	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
36	Gaspardo M300	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
37	Gaspardo M250	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
38	Gaspardo M400	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
39	JD 455	11,0	10,7	10,7	1,000	1997*
40	JD 455	11,0	7,60	7,60	1,000	1997*
41	JD 455	11,0	9,10	9,10	1,000	1997*
42	JD 9400	11,0	18,3	20,1	1,100	1997*
43	СЗД-8	12,0	7,80	9,36	1,200	1997*

44	Roger XR-Pack	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
45	Roger XR-Pack	11,0	3,50	3,85	1,100	1997*
46	Roger XR-Pack	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
47	Sulky-GC	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
48	Sulky-GC	11,0	4,00	4,40	1,100	1997*
49	Sulky-Master 250	11,0	2,50	2,75	1,100	1997*
50	Sulky-Master 250	11,0	3,00	3,30	1,100	1997*
2000 рр., дані, згідно [69]						
1	СТС-2	10,0	2,05	2,05	1,000	2006*
2	СЗ-10,8	12,0	10,8	13,0	1,200	2006*
дані, згідно [23]						
3	СЗ-5,4-06 «Клен»	12,0	5,40	6,48	1,200	2007-2008
дані, згідно [31]						
4	СЗП-3,6Б	12,0	3,60	4,32	1,200	2006*
5	СТС-6	10,0	6,15	6,15	1,000	2006*
6	СЗТ-3,6А	12,0	3,60	4,32	1,200	2006*
7	СЗ-3,6А	12,0	3,60	4,32	1,200	2006*
дані, згідно [66, 94]						
8	JD 455	11,0	10,7	11,77	1,100	з 2000-х р.
9	JD 455	11,0	7,60	8,36	1,100	з 2000-х р.
10	JD 455	11,0	9,10	10,0	1,100	з 2000-х р.
дані, згідно [100]						
11	СЗМ «Ніка-4»	10,0	4,00	4,00	1,000	з 2000-х р.
дані, згідно [106]						
12	Mazur 1100/6	8,00	6,00	4,80	1,200	з 2000-х р.
13	Mazur 1100/6 D	8,00	6,50	5,50	1,200	з 2000-х р.
14	Polonez 4/780 D	8,00	4,00	3,20	0,800	з 2000-х р.
дані, згідно [67]						
15	Amazone D9-40	15,0	4,00	6,00	1,500	з 2000-х р.

дані, згідно [41]						
16	Харвест 360	12,0	3,60	4,32	1,200	з 2000-х р.
17	Харвест 540	12,0	3,60	4,32	1,200	з 2000-х р.
18	Astra 3,6A-04	12,0	3,60	4,32	1,200	з 2000-х р.
19	Astra 6	12,0	6,00	7,20	1,200	з 2000-х р.
дані, згідно [39]						
20	СЗФ-4000	15,0	4,00	6,00	1,500	з 2000-х р.
дані, згідно [107]						
21	2BFX-14	8,00	2,10	1,68	0,800	з 2000-х р.
22	2BFX-16	8,00	2,40	1,92	0,800	з 2000-х р.
23	2BFX-18	8,00	2,70	2,16	0,800	з 2000-х р.
24	2BFX-20	8,00	3,00	2,40	0,800	з 2000-х р.
25	2BFX-22	8,00	3,30	2,64	0,800	з 2000-х р.
26	2BFX-24	8,00	3,60	2,88	0,800	з 2000-х р.
дані, згідно [109]						
27	Kuhn Premia 9000TRC	15,0	9,00	13,5	1,500	з 2000-х р.
дані, згідно [4]						
28	SFG-1428	10,0	3,92	3,92	1,000	з 2000-х р.
29	SFG-1232	10,0	4,00	4,00	1,000	з 2000-х р.
30	SFG-1440	10,0	5,60	5,60	1,000	з 2000-х р.
дані, згідно [103]						
31	Gaspardo MEGA 600	15,0	6,00	9,00	1,500	з 2000-х р.
дані, згідно [111]						
32	Gaspardo Maria SC 400	12,0	4,00	4,80	1,200	з 2000-х р.
дані, згідно [116]						
33	«Берегіня» АП-372	9,00	3,91	3,52	0,900	з 2000-х р.
34	«Берегіня» АП-462	9,00	4,76	4,28	0,900	з 2000-х р.
35	«Берегіня» АП-652	9,00	6,46	5,81	0,900	з 2000-х р.
36	Kühne6210	12,0	4,31	5,17	1,200	з 2000-х р.
37	Kühne6220	12,0	8,70	10,4	1,200	з 2000-х р.

38	Kühne6230	12,0	13,1	15,7	1,200	з 2000-х р.
39	Rapid RD 400C	14,0	4,00	5,60	1,400	з 2000-х р.
40	Kuhn SDE 3000	10,0	3,00	3,00	1,000	з 2000-х р.
41	Kuhn SDE 4500	10,0	4,50	4,50	1,000	з 2000-х р.
дані, згідно [99]						
42	Lemken Saphir	15,0	4,00	6,00	1,500	з 2000-х р.
дані, згідно [98]						
43	JD 750	12,0	4,50	5,40	1,200	з 2000-х р.
дані, згідно [38]						
44	СЗУ-6	15,0	6,00	9,00	1,500	з 2000-х р.
дані, згідно [102]						
45	Grain-3,6	12,0	3,60	4,32	1,200	з 2000-х р.
дані, згідно [112]						
46	Great Plains CPH15	11,0	4,57	5,03	1,100	2005*
47	Great Plains CPH20	11,0	6,10	6,71	1,100	2005*
48	Great Plains TP2010	11,0	6,10	6,71	1,100	2005*
49	Great Plains 2N3010	11,0	7,31	8,04	1,100	2005*
50	Great Plains 2N2410	11,0	9,14	10,1	1,100	2005*
дані, згідно [108]						
51	Bozkurt	12,0	3,25	3,90	1,200	з 2000-х р.
52	Bozkurt	12,0	3,50	4,20	1,200	з 2000-х р.
53	Bozkurt	12,0	4,00	4,80	1,200	з 2000-х р.
54	Bozkurt	12,0	4,50	5,40	1,200	з 2000-х р.
55	Bozkurt	12,0	5,00	6,00	1,200	з 2000-х р.
56	Bozkurt	12,0	5,50	6,60	1,200	з 2000-х р.
57	Bozkurt	12,0	6,00	7,20	1,200	з 2000-х р.
дані, згідно [3]						
58	АУП-18.05	15,0	4,50	6,75	1,500	з 2000-х р.
59	АУП-18.05	15,0	4,50	6,75	1,500	з 2000-х р.

* – виходячи з року публікації даних.

Додаток В

Характеристики матеріаломісткості зернотрав′яних сівалок з механічними висівними апаратами.

№	Марка	Конструкт. маса $m_к$, кг	Ширина захвату B, м	Материало-містк. $m_п$, кг/м	Період виробництва
1	2	3	4	5	6
1910 рр., дані, згідно [119]					
1	«Росія»	500,0	1,50	333,3	1917-1927
1920 рр., дані, згідно [119]					
1	«Росія»	500,0	1,50	333,3	1917-1927
1930 рр., дані, згідно [119]					
1	КДС-12	490,0	1,80	272,2	1938-1941
1940 рр., дані, згідно [119]					
1	КДС-12	490,0	1,80	272,2	1938-1941
2	СД-10	407,0	1,50	271,3	1944-1960
3	Т-8-2А	950,0	3,60	263,9	1944-1953
4	СД-24	930,0	3,60	258,3	1944-1957
5	СК-10	534,0	1,50	356,0	1947-1953
6	СУБ-48	1050	3,60	291,7	1948-1955
7	СК-24	1018	3,60	282,8	1949-1955
1950 рр., дані, згідно [119]					
1	СД-10	407,0	1,50	271,3	1944-1960
2	Т-8-2А	950,0	3,60	263,9	1944-1953
3	СД-24	930,0	3,60	258,3	1944-1957
4	СК-10	534,0	1,50	356,0	1947-1953
5	СУБ-48	1050	3,60	291,7	1948-1955
6	СК-24	1018	3,60	282,8	1949-1955
7	СЗТ-47	1265	3,60	351,4	1950-1958
8	СЛ-44	970,0	3,30	293,9	1954-1957
9	СУ-24	1100	3,60	305,6	1958-1959
10	СУЛ-48	1180	3,60	327,8	1957-1959
11	СУК-24	1190	3,60	330,6	1958-1961 1964-1971
12	СЗН-10	370,0	1,50	246,7	1959-1966
13	СЗН-16	545,0	2,40	227,0	1959-1966
14	СЗН-24	730,0	3,60	202,8	1959-1966
15	СЛН-20	350,0	1,50	233,3	1959-1960
16	СЛН-32	550,0	2,40	229,2	1959-1961
17	СЛН-48	820,0	3,60	227,8	1959-1963
1960 рр., дані, згідно [119]					
1	СД-10	407,0	1,50	271,3	1944-1960
2	СУЛ-48	1180	3,60	327,8	1965-1973

3	СУК-24	1190	3,60	330,6	1958-1961 1964-1971
4	СЗН-10	370,0	1,50	246,7	1959-1966
5	СЗН-16	545,0	2,40	227,0	1959-1966
6	СЗН-24	730,0	3,60	202,8	1959-1966
7	СЛН-20	350,0	1,50	233,3	1959-1960
8	СЛН-32	550,0	2,40	229,2	1959-1961
9	СУТ-47	1380	3,60	383,3	1966-1973
10	СЗП-24	1312	3,60	364,4	1963-1964
11	СЛН-48	820,0	3,60	227,8	1959-1963
12	СЛН-48А	842,0	3,60	233,9	1966-1968
1970 рр., дані, згідно [119]					
1	СЗ-3,6	1400	3,60	388,9	з 1970
2	СЗУ-3,6	1560	3,60	433,3	з 1972
3	СЗЛ-3,6	1300	3,60	361,1	з 1973
4	СЗА-3,6	1280	3,60	355,6	з 1973
5	СРН-3,6	968,0	3,60	268,9	з 1974
	дані, згідно [57, 61, 121]				
6	Saxonia A591	1330	5,00	266,0	1975*
7	Lift-o-matic	800,0	6,00	133,3	1975*
8	Nodet	670,0	6,00	111,7	1975*
9	Roger 600	870,0	6,00	145,0	1975*
10	Roger 800	1400	8,00	225,0	1975*
11	125-48	1300	6,00	216,7	1975*
12	СЗО-3,6	1310	3,60	363,9	1970 рр.
1980 рр., дані, згідно [119]					
1	СЗ-3,6	1400	3,60	388,9	з 1970
2	СЗУ-3,6	1560	3,60	433,3	з 1972
3	СЗЛ-3,6	1300	3,60	361,1	з 1973
4	СЗА-3,6	1280	3,60	355,6	з 1973
5	СРН-3,6	968,0	3,60	268,9	з 1974
дані по технічним характеристикам сівалки СЗ-5,4					
6	СЗ-5,4	2554	5,40	473,0	з 1980-х р.
дані, згідно [63]					
7	Fortschritt A-201	450,0	3,00	150,0	1985*
8	Agrozet 40SI× DJ150	2490	6,00	416,0	1985*
9	Morris M10	1540	3,05	504,9	1985*
10	Nordsten CKF-250	725,0	2,50	290,0	1985*
11	Simulta	715,0	2,50	286,0	1985*

	S-250				
12	HKL 300	1070	3,00	356,7	1985*
дані, згідно [62]					
13	Nordsten CLF 600	1000	6,00	166,7	1986*
14	Scheby Maskin Fabrik	1004	6,00	167,3	1986*
15	Great Plains SS20′	1589	6,10	260,5	1986*
16	Great Plains SS27′	2002	8,20	244,1	1986*
17	Amazone EV-1000	829,0	6,00	138,2	1986*
18	Nodet Gougis GS-4	2060	4,00	515,0	1986*
19	Fortschritt A-221	1600	6,00	266,7	1986*
20	Tröstler Duas-H	1406	6,00	234,3	1986*
21	Hestair	2336	6,00	389,3	1986*
22	Horwood Bagshaw	3000	6,00	500,0	1986*
23	Ross DJ150	2400	6,00	400,0	1986*
1990 рр., дані, згідно [43]					
1	СМШ-7,2	3450	7,2	479,2	1991*
дані, згідно [58]					
2	Kraj SO 52/1	1050	4,00	262,5	1991*
3	Sigma-16	650,0	2,00	325,0	1991*
4	Sigma-20	820,0	2,50	328,0	1991*
5	Valga-Juko 4000	1850	4,00	462,5	1991*
6	СЗК-3,6	2050	3,60	569,4	1991*
дані, згідно [182, 183]					
7	Amazone D8/30 E-N	640,0	3,00	213,3	1991*
8	Amazone RPD 301	1011	3,00	337,0	1991*
9	Nodet Gougis SL330	780,0	3,00	260,0	1991*
дані, згідно [101]					
10	Агритекс СЗМ 400	1350	4,00	337,5	1991*
дані, згідно [126]					

11	СЗ-5,4	2554	5,40	473,0	1997*
12	СЗ-5,4-06 «Клен»	2884	5,40	534,1	1997*
13	СЗ-3,6А	1380	3,60	383,3	1997*
14	СЗТ-3,6А	1690	3,60	469,4	1997*
дані, згідно [90]					
15	K-SC	740,0	3,50	211,4	1990 рр.
16	K-SF	1040	4,30	241,9	1990 рр.
дані, згідно [179]					
17	Multidrill M401	720,0	4,00	180,0	1990 рр.
дані, згідно [124]					
18	Apollo DR	592,0	4,00	148,0	1997*
19	Apollo DR	653,0	4,50	145,1	1997*
20	Astra SC	640,0	4,50	142,2	1997*
21	RP-AD 302	855,0	3,00	285,0	1997*
22	RP-AD 402	1200	4,00	300,0	1997*
23	RP-AD 452	1345	4,50	298,8	1997*
24	RP-AD 602	1610	6,00	268,3	1997*
25	СЗК-3,6	1500	3,60	416,7	1997*
26	Combinata	652,0	3,00	217,3	1997*
27	Combinata	829,0	4,00	207,2	1997*
28	Gaspardo M400	750,0	4,00	187,5	1997*
29	СЗД-8	5320	7,80	682,1	1997*
30	Roger XR-Pack	680,0	3,50	194,3	1997*
31	Roger XR-Pack	740,0	4,00	185,0	1997*
32	Sulky-GC	800,0	4,00	200,0	1997*
33	Juko X350	1090	2,50	436,0	1997*
34	Juko X3000	1500	3,00	500,0	1997*
2000 рр., дані, згідно [23]					
1	СЗ-5,4-06 «Клен»	2884	5,40	534,1	2007-2008
дані, згідно [100]					
2	СЗМ «Ніка-4»	2050	4,00	512,5	з 2000-х р.
дані, згідно [106]					
3	Mazur 1100/6	2650	6,00	441,7	з 2000-х р.
4	Mazur 1100/6 D	2750	6,50	423,1	з 2000-х р.
5	Polonez	1800	4,00	450,0	з 2000-х р.

	Premium 1000/4				
6	Polonez Premium 1000/4 D	2000	4,00	500,0	з 2000-х р.
7	Cayen 1500/4	2300	4,00	575,0	з 2000-х р.
8	Cayen Premium 1500/4 D	2500	4,00	625,0	з 2000-х р.
дані, згідно [67]					
9	Amazone D9-40	1180	4,00	295,0	з 2000-х р.
дані, згідно [41]					
10	Харвест 360	1380	3,60	383,3	з 2000-х р.
11	Харвест 540	2803	5,40	519,1	з 2000-х р.
12	Astra 3,6A-04	1380	3,60	411,1	з 2000-х р.
13	Astra 6	2780	6,00	463,3	з 2000-х р.
дані, згідно [4]					
14	SFG-1428	1435	3,92	366,1	з 2000-х р.
15	SFG-1232	1530	4,00	382,5	з 2000-х р.
16	SFG-1440	2750	5,60	491,1	з 2000-х р.
дані, згідно [103]					
17	Gaspardo MEGA 600	2150	6,00	537,5	з 2000-х р.
дані, згідно [111]					
18	Gaspardo Maria SC 400	1350	4,00	337,5	з 2000-х р.
дані, згідно [116]					
19	Sunflower 9412-20	3180	6,10	521,3	з 2000-х р.
дані, згідно [95]					
20	Lemken Saphir 7/250	838,0	2,50	335,2	з 2000-х р.
21	Lemken Saphir 7/300	927,0	3,00	309,0	з 2000-х р.
22	Lemken Saphir 7/400	1136	4,00	284,0	з 2000-х р.
дані, згідно [38]					
23	СЗУ-6	3300	6,00	550,0	з 2000-х р.
дані, згідно [40]					
24	Bomet S004/2	670,0	3,0	222,5	з 2000-х р.
25	Bomet S004/2	890,0	4,0	222,5	з 2000-х р.

дані, згідно [104**]**					
26	Gaspardo Nina 300	544,0	3,00	181,3	з 2000-х р.
27	Gaspardo Nina 400	938,0	4,00	234,5	з 2000-х р.
дані, згідно [102]					
28	Grain 3,6	1530	3,60	425,0	з 2000-х р.
дані, згідно [31]					
29	СЗП-3,6Б	1535	3,60	426,4	2006*
30	СЗТ-3,6А	1540	3,60	427,8	2006*
31	СЗ-3,6А	1380	3,60	383,2	2006*
дані, згідно [108]					
32	Bozkurt	1220	3,25	375,4	з 2000-х р.
33	Bozkurt	1320	3,50	377,1	з 2000-х р.
34	Bozkurt	1800	4,00	450,0	з 2000-х р.
35	Bozkurt	2040	4,50	453,3	з 2000-х р.
36	Bozkurt	2280	5,00	456,0	з 2000-х р.
37	Bozkurt	2520	5,50	458,2	з 2000-х р.
38	Bozkurt	2880	6,00	480,0	з 2000-х р.

* – виходячи з року публікації даних.

Додаток Д

Визначення питомого тягового опору зернових сівалок.

№	Літера-тура	Дані для визначення питомого тягового опору $p_{пит}$ в залежності від швидкості руху V_p, ширини захвату B, маси $m_к$, глибини сівби h, тягової потужності $N_{тяг}$ і загального тягового опору P_c сівалок	Значення $p_{пит}$, кН/м
1960-і рр.			
1	[77]	Опір дводискового сошника складає 1,5-14,2 кг (14,7-140 Н) при глибині ходу h = 4-8 см. При цьому сівалка Т8-2А з B = 3,6 м, масою $m_к$ = 917 кг, h = 4-7 см має P_c = 400 кг (3,9 кН або 1,09 кН/м), а сівалка СК-24 з B = 3,6 м, масою $m_к$ = 1018 кг, h = 4-10,5 см має P_c = 450 кг (4,4 кН или 1,23 кН/м)	1,09; 1,23
2	[35]	Для B = 2 м при швидкості V_p = 9,7 км/год (2,7 м/с) тягова потужність складає $N_{тяг.}$ = 7,2 л.с.(5,3 кВт), або P_c = 1,96 кН (0,98 кН/м), а при V_p = 7,6 км/год (2,1 м/с) $N_{тяг.}$ = 5,6 к.с.(4,12 кВт), тобто також P_c = 1,96 кН	0,98
3	[6]	При B = 3,6 м, m_c = 760 кг, $W_{нас.}$ = 300 дм^3 тяговий опір складає 350-400 кг ($p_{пит}$ = 0,95-1,1 кН/м). Для m_c = 370 кг, $W_{нас}$ = 120 кг, B = 1,5 м відповідно $p_{пит}$ = 0,82-0,98 кН/м при h = 4-8 см	0,95-1,10; 0,82-0,98
		Середнє значення $p_{пит}$	1,045
1970-і рр.			
1	[8]	Питомий тяговий опір складає $p_{пит}$ = 150-240 кг/м (1,47-2,35 кН/м) при питомій масі машини $m_{пит}$ = 200-230 кг/м та вазі насіння 80 кг/м	1,47-2,35
2	[26]	Для B = 3,6 м (сівалка СЗ-3,6) $p_{пит}$ = 1,1-1,3 кН/м	1,10-1,30
3	[85]	Для сівалки СУ-24 з B = 3,6 м, h = 4-8 см, P_c = 110кгс/м (1,08 кН/м) при V_p = 4-5 км/год. При V_p = 10,85 км/год (3м/с) - P_c = 430кг (4,22кН) або 1,17кН/м	1,08; 1,17

4	[61]	Питомий опір посівних агрегатів приймається як середня величина за матеріалами випробувань у різних ґрунтово-кліматичних зонах і становить $p_{пит}$ = 1,2 кН/м	1,20
5	[24]	При заданій ширині захвату B = 3,6 м, швидкості руху V_p = 10 км/год опір сівалки P_c = 500 кг. Необхідна тягова потужність N_m = 18,5 л.с.	1,36
		Середнє значення $p_{пит}$	1,32
1980-і рр.			
1	[19]	-	1,20
2	[29]	-	1,60-1,80
3	[53]	-	1,20-1,60
4	[115]	Для агрегату МТЗ80/82+СЗ-3,6: B = 3,6 м – $p_{пит}$ = 1,5-2 кН/м, при швидкості V_p = 2,5-3,9 м/с для цього агрегату тяговий опір складе P_c = 6,5-7,5 кН с необхідною потужністю двигуна N_e = 44,2-47,8 кВт	1,50-2,00
5	[91]	При B = 10,8 м (сівалки СЗ-3,6), $N_{тяг.}$ = 60 кВт або $N_{тяг.пит}$ = 5,56 кВт/м. При V_p = 2,5м/с отримаємо $p_{пит}$ = 2,11 кН/м, с урахуванням опору зчіпки СП-11 с $P_{зч}$ = 1,25 кН	2,11
6	[113]	При V_p = 3,5м/с $p_{пит}$ = 2,4кН/м, а енергонасиченість складає 21,3 кВт/т. Для агрегату з трактора, зчіпки СП-11, двох сівалок СЗ-3,6 при B = 7,2 м, V_p = 2-3м/с технологічний опір складе 10-15 кН, або $p_{пит}$ = 1,4-2,08 кН/м, а $N_{тяг.}$ = 20-45 кВт.	2,40; 1,40-2,08
7	[9]	-	1,80
8	[36]	-	1,73
9	[120]	Для сівалок рядової сівби $p_{пит}$ = 1,0-1,5 кН/м, для сівалок вузькорядної сівби $p_{пит}$ = 1,4-1,8 кН/м, для сівалок рядової сівби з прикочуванням $p_{пит}$ = 1,6-2,0кН/м	1,00-1,50; 1,40-1,80; 1,60-2,00
		Середнє значення $p_{пит}$	1,71

Додаток Е

Характеристики конструкцій і робочого процесу зернотрав′яних сівалок з пневматичними централізованими висівними системами

№	Марка	Макс. швидкість V_{max} , км/ч	Ширина захвату B, м	Теоретич. продукт. при V_{max}, га/г	Питома продукт. $W_{num.}$га/гм	Період виробниц-тва
1	2	3	4	5	6	7
1970 рр., дані, згідно [57]						
1	Amazone EV 900-6	10,0	6,00	6,00	1,000	1975*
2	Accord	10,0	6,00	6,00	1,000	1975*
3	Лайта-аккорд	12,9	6,00	7,74	1,300	1975*
4	Sowjet	12,9	6,10	7,87	1,300	1975*
5	СУП-48	9,00	6,00	5,40	0,900	1975*
6	125-48	9,00	6,00	5,40	0,900	1975*
1980 рр., дані по технічним характеристикам сівалки СЗПЦ-12 та згідно [125]						
1	СЗПЦ-12	12,0	12,0	14,4	1,200	1989*
2	СПР-6	12,0	6,0	7,20	1,200	1989*
дані, згідно [63]						
3	Accord DT	12,0	6,00	7,20	1,200	1985*
4	Symonds	10,0	3,10	3,10	1,000	1985*
5	Symonds	10,0	9,76	9,76	1,000	1985*
дані, згідно [56]						
6	Stegsted STN	11,0	5,00	5,50	1,100	1986*
7	SD-77	11,0	6,00	6,60	1,100	1986*
8	Accord DL	12,0	4,50	5,40	1,200	1986*
9	Nodet Gougis SL 660	11,0	6,00	6,60	1,100	1986*
10	Roger XP	11,0	6,00	6,60	1,100	1986*
11	Drille-Jet 4006	11,0	6,00	6,60	1,100	1986*
дані, згідно [32]						
12	Carier	10,0	6,00	6,00	1,000	1989*
13	Leon S-45	10,0	7,00	7,00	1,000	1989*
1990 рр., дані, згідно [58]						
1	Accord Tandem DL	12,0	6,00	7,20	1,200	1991*
2	Kraj SO 61	12,0	9,00	10,8	1,200	1991*
3	СЗПЦ-12	12,0	12,0	14,4	1,200	1991*
дані, згідно [90]						
4	K-SP 4	12,0	4,00	4,80	1,200	1990 рр.

5	K-SP 6	12,0	6,00	7,20	1,200	1990 pp.
дані, згідно [59]						
6	ABC-5	12,0	12,0	14,4	1,200	1991*
дані, згідно [181]						
7	Amazone Airstar AD-P 302	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
8	Accord Pneumatic DA-S	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
9	Lemken Solitair	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
10	Rabe Turbodrill T300AS	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
11	Rauch Venta AL 301	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
дані, згідно [184]						
12	Pneumadrill D 300	12,0	3,00	3,60	1,200	1990 pp.
13	Pneumadrill D 400	12,0	4,00	4,80	1,200	1990 pp.
14	Pneumadrill D 450	12,0	4,50	5,40	1,200	1990 pp.
15	Pneumadrill D 500	12,0	5,00	6,00	1,200	1990 pp.
16	Pneumadrill D 600	12,0	6,00	7,20	1,200	1990 pp.
17	Pneumadrill D 800	12,0	8,00	9,60	1,200	1990 pp.
18	Pneumadrill HD 600	12,0	6,00	7,20	1,200	1990 pp.
19	Pneumadrill A 300	12,0	3,00	3,60	1,200	1990 pp.
20	Pneumadrill A 400	12,0	4,00	4,80	1,200	1990 pp.
21	Pneumadrill A 450	12,0	4,50	5,40	1,200	1990 pp.
22	Pneumadrill A 600	12,0	6,00	7,20	1,200	1990 pp.
дані, згідно [124]						
23	Concord 2812	10,6	8,50	9,00	1,060	1997*
24	Concord	10,0	12,2	12,0	1,000	1997*

	4012					
25	Polymat 300	12,0	3,0	3,60	1,200	1997*
26	Polymat 300	12,0	4,0	4,80	1,200	1997*
27	Flexi Coil	12,0	8,20	9,83	1,200	1997*
28	Flexi Coil	12,0	10,0	12,0	1,200	1997*
29	Flexi Coil	12,0	12,0	14,4	1,200	1997*
30	Flexi Coil	12,0	13,1	15,7	1,200	1997*
31	Flexi Coil	12,0	17,4	20,9	1,200	1997*
32	JD 730	12,0	8,50	10,2	1,200	1997*
33	JD 730	12,0	11,0	13,2	1,200	1997*
34	JD 730	12,0	13,4	16,1	1,200	1997*
35	JD 735, 337	12,0	9,40	11,3	1,200	1997*
36	JD 735, 337	12,0	11,0	13,2	1,200	1997*
37	JD 735, 337	12,0	12,5	15,0	1,200	1997*
38	Sa-Jet D2206	12,0	6,00	7,20	1,200	1997*
39	Sa-Jet D2206	12,0	6,70	8,00	1,200	1997*
40	Sa-Jet D2206 4008	12,0	8,00	9,60	1,200	1997*
41	Combi-Jet CD 3304	12,0	4,00	4,80	1,200	1997*
42	Free Flow	12,0	3,00	3,60	1,200	1997*
43	Free Flow	12,0	4,00	4,80	1,200	1997*
44	Free Flow	12,0	6,00	7,20	1,200	1997*
45	Free Flow	12,0	8,00	9,60	1,200	1997*
46	Mistral 1500	8,30	3,00	2,50	0,83	1997*
47	Mistral 1500	8,50	4,00	3,40	0,85	1997*
48	Mistral 1500	8,70	4,50	3,90	0,87	1997*
49	Horsch DS/D3	15,0	3,00	4,50	1,500	1997*
50	Horsch DS/D4	15,0	4,00	6,00	1,500	1997*
51	Accord DA	12,0	2,50	3,00	1,200	1997*
52	Accord DT	12,0	6,00	7,20	1,200	1997*
53	Accord DT	12,0	9,00	10,8	1,200	1997*
дані, згідно [110]						
54	СЗПН-6	10,0	6,00	6,00	1,000	1990*
2000 рр., дані, згідно [69]						

1	СЗПЦ-12	12,0	12,0	14,4	1,200	2006*
дані, згідно [64, 65]						
2	СПН-8	12,0	8,00	9,60	1,200	2007*
3	ППА-5,4	10,0	5,40	5,40	1,000	2007*
4	ППА-7,2	10,0	7,20	7,20	1,000	2007*
5	ППАБМ-14,7	10,0	14,7	14,7	1,000	2007*
6	ПК-4,2	11,0	4,20	4,60	1,100	2007*
7	СС-3,6	11,0	6,00	6,50	1,100	2007*
8	АТД-11,35 “Horsch”	9,60	11,35	10,9	0,950	2007*
дані, згідно [76]						
9	СПУ-3	12,0	3,00	3,60	1,200	2006*
10	СПУ-4	12,0	4,00	4,80	1,200	2006*
11	СПУ-6	12,0	6,00	7,20	1,200	2006*
дані, згідно [78, 79]						
12	Сириус-10	10,0	10,0	10,0	1,000	2008*
дані, згідно [45]						
13	Термінатор	14,0	18,0	25,2	1,400	2007*
дані, згідно [127]						
14	Sprinter 6ST	15,0	6,0	9,00	1,500	2008*
15	Primera DMC-601	16,0	6,0	9,60	1,600	2008*
дані, згідно [112]						
16	Great Plains NTA 3010	12,0	9,14	11,0	1,200	2005*
17	Great Plains NTA 3010	12,0	10,7	12,8	1,200	2005*
дані, згідно [48]						
18	Kuhn Venta	12,0	5,00	6,00	1,200	2006*
19	Kuhn Venta	12,0	6,00	7,20	1,200	2006*
20	Kuhn Fastliner 300	15,0	3,00	4,50	1,500	2006*
21	Kuhn Fastliner 400	15,0	4,00	6,00	1,500	2006*
22	Kuhn Fastliner 3000	15,0	3,00	4,50	1,500	2006*
23	Kuhn Fastliner 4000	15,0	4,00	6,00	1,500	2006*

24	Kuhn Fastliner 6000	15,0	6,00	9,00	1,500	2006*
25	Kuhn Fastliner SD3000P	15,0	3,00	4,50	1,500	2006*
26	Kuhn Fastliner SD4000	15,0	4,00	6,00	1,500	2006*
27	Kuhn Fastliner SD4500	15,0	4,50	6,75	1,500	2006*
28	Kuhn Fastliner SD6000	15,0	6,00	9,00	1,500	2006*
дані, згідно [87]						
29	ATD 18.35	15,0	18,2	27,3	1,500	2006*
30	ATD 11.35	15,0	11,9	17,8	1,500	2006*
31	ATD 9.35	15,0	9,80	14,7	1,500	2006*
дані, згідно [89]						
32	Horsch Pronto 3DC	20,0	3,00	6,00	2,00	2007*
33	Horsch Pronto 4DC	20,0	4,00	8,00	2,00	2007*
34	Horsch Pronto 6DC	20,0	6,00	12,0	2,00	2007*
дані, згідно [82]						
35	DL-4,5	12,0	4,50	5,40	1,200	2007*
36	DT-6,0	12,0	6,00	7,20	1,200	2007*
37	DT-8,0	12,0	8,00	9,60	1,200	2007*
38	DE-9,0	12,0	9,00	10,8	1,200	2007*
39	DV	12,0	8,00	9,60	1,200	2007*
40	MSC 4	18,0	4,00	7,20	1,800	2007*
41	MSC 6	18,0	6,00	10,8	1,800	2007*
дані, згідно [88]						
42	Pronto 6AS	20,0	6,00	12,0	2,000	2006*
43	Focus 8/15 CS	12,0	6,00	7,20	1,200	2006*
дані, згідно [81]						
44	Solitair 9/400	12,0	4,00	4,80	1,200	2007*
45	Solitair 9/450KA	12,0	4,50	5,40	1,200	2007*
46	Solitair	12,0	5,00	6,00	1,200	2007*

	9/500К					
47	Solitair 9/600К	12,0	6,00	7,20	1,200	2007*
48	Solitair 12/800К	12,0	8,00	9,60	1,200	2007*
49	Solitair 12/900К	12,0	9,00	10,8	1,200	2007*
50	Solitair 12/1000К	12,0	10,0	12,0	1,200	2007*
51	Solitair 12/1200К	12,0	12,0	14,4	1,200	2007*
дані, згідно [117]						
52	Agromaster 4800	12,0	4,80	5,76	1,200	2000 рр.
53	Agromaster 5400	12,0	5,40	6,48	1,200	2000 рр.
дані, згідно [5]						
54	Gigante	12,0	5,76	6,91	1,200	2000 рр.
55	Gigante	12,0	9,00	10,8	1,200	2000 рр.
дані, згідно [96]						
56	Speedliner-300	15,0	3,00	4,50	1,500	2000 рр.
57	Speedliner-400	15,0	4,00	6,00	1,500	2000 рр.
58	Speedliner-600	15,0	6,00	9,00	1,500	2000 рр.
дані, згідно [4]						
59	Tarpan-6	12,0	6,00	7,20	1,200	2000 рр.
60	Tarpan-9	12,0	9,00	10,8	1,200	2000 рр.
дані, згідно [86]						
61	Златник	10,0	6,00	6,00	1,000	2000 р.
дані, згідно [80]						
62	Донэйр 400/24-V4	12,0	4,00	4,80	1,200	2000 рр.
63	Донэйр 530/32-V6	12,0	5,30	6,36	1,200	2000 рр.
64	Донэйр 680/40-V6	12,0	6,80	8,16	1,200	2000 рр.
65	Донэйр 680/40-V8	12,0	6,80	8,16	1,200	2000 рр.
66	Донэйр 820/48-V6	12,0	8,00	9,60	1,200	2000 рр.
67	Донэйр	12,0	8,00	9,60	1,200	2000 рр.

	820/48-V8					
68	Донэйр 585/40-V6	12,0	5,85	7,02	1,200	2000 рр.
69	Донэйр 615/42-V6	12,0	6,15	7,38	1,200	2000 рр.
79	Донэйр 615/42-V8	12,0	6,15	7,38	1,200	2000 рр.
71	Донэйр 705/48-V6	12,0	7,05	8,46	1,200	2000 рр.
72	Донэйр 705/48-V8	12,0	7,05	8,46	1,200	2000 рр.
73	Донэйр 825/56-V8	12,0	8,25	9,90	1,200	2000 рр.
74	Донэйр 975/66-V8	12,0	9,75	11,7	1,200	2000 рр.

* – виходячи з року публікації даних.

Додаток Ж

Характеристики матеріаломісткості посівних машин з пневматичними централізованими висівними системами.

№	Марка	Конструкт. маса $m_к$, кг	Ширина захвату B, м	Материало-містк. m_n, кг/м	Період виробн.
1970 рр., дані, згідно [57]					
1	Amazone EV900-6	829	6,00	138,2	1975*
2	Accord	780	6,00	130,0	1975*
3	Лайта-аккорд	880	6,00	146,7	1975*
4	Sowjet	2000	6,10	327,9	1975*
5	СУП-48	900	6,00	150,0	1975*
6	125-48	1300	6,00	216,7	1975*
1980 рр., дані, згідно [63]					
1	Accord DT	1050	6,00	175,0	1985*
2	Symonds	2600	9,76	266,4	1985*
3	Flexi-Coil-1000	2680	10,7	250,5	1985*
дані, згідно [56]					
4	Stegsted STN	870	5,00	174,0	1986*
5	SD-77	860	6,00	143,3	1986*
6	Accord DL	510	4,50	113,3	1986*
7	Nodet Gougis SL 660	1300	6,00	216,7	1986*
8	Roger XP	1250	6,00	208,3	1986*
1990 рр., дані, згідно [59]					
1	Accord Tandem DL	1250	6,00	208,3	1991*
2	Kraj SO 61	3000	9,00	333,3	1991*
3	СЗПЦ-12	4840	12,0	403,3	1991*
дані, згідно [90]					
4	K-SP 4	1000	4,00	250,0	1990 рр.
5	K-SP 6	1200	6,00	200,0	1990 рр.
дані, згідно [59]					
6	ABC-5	1500	12,0	125,0	1991*
дані, згідно [184]					
7	Pneumadrill D 500	1150	5,00	230,0	1990 рр.
8	Pneumadrill	1176	6,00	196,0	1990 рр.

	D 600				
9	Pneumadrill D 800	1550	8,00	193,8	1990 pp.
10	Pneumadrill HD 600	1860	6,00	310,0	1990 pp.
11	Pneumadrill A 300	673	3,00	224,3	1990 pp.
12	Pneumadrill A 400	780	4,00	195,0	1990 pp.
13	Pneumadrill A 450	881	4,50	195,8	1990 pp.
14	Pneumadrill A 600	1220	6,00	203,3	1990 pp.
дані, згідно [176, 180]					
15	Mistral DA 6000	1150	6,00	191,7	1998*
16	Venta AL 602	1405	6,00	234,2	1998*
17	Solitair 9/600K	1520	6,00	253,3	1998*
18	Turbodrill T 600 AS	805	6,00	134,2	1998*
дані, згідно [124]					
19	Polymat 300	880	3,00	293,3	1997*
20	Polymat 300	1015	4,00	253,8	1997*
21	Mistral 1500	462	4,50	102,7	1997*
22	Accord DT	1020	6,00	170,0	1997*
23	Accord DT	1990	9,00	221,1	1997*
дані, згідно [110]					
24	СЗПН-6	1610	6,00	268,3	1990*
2000 рр., дані, згідно [69]					
1	СЗПЦ-12	5165	12,0	430,4	2006*
дані, згідно [64, 65]					
2	СПН-8	1800	8,00	225,0	2007*
3	ППА-7,2	2120	7,20	294,4	2007*
дані, згідно [76]					
4	СПУ-3	655	3,00	218,3	2006*
5	СПУ-4	755	4,00	188,8	2006*
6	СПУ-6	1230	6,00	205,0	2006*

дані, згідно [82]					
7	DL-4,5	500	4,50	111,1	2007*
8	DT-6,0	1200	6,00	200,0	2007*
9	DT-8,0	1570	8,00	196,2	2007*
10	DE-9,0	2070	9,00	230,0	2007*
11	DV	1750	8,00	218,8	2007*
дані, згідно [81]					
12	Solitair 9/450	1041	4,50	231,3	2005*
13	Solitair 9/400K	1040	4,00	260,0	2005*
14	Solitair 9/450K	1091	4,50	242,4	2005*
15	Solitair 9/500K	1150	5,00	230,0	2007*
16	Solitair 9/600K	1268	6,00	211,3	2007*
17	Solitair 9/500KA	1300	5,00	260,0	2005*
18	Solitair 9/600KA	1430	6,00	238,3	2005*
дані, згідно [178]					
19	MSD 450	1300	4,50	288,9	2000 pp.
20	MSD 500	1330	5,00	266,0	2000 pp.
21	MSD 600	1430	6,00	238,3	2000 pp.

* – виходячи з року публікації даних.

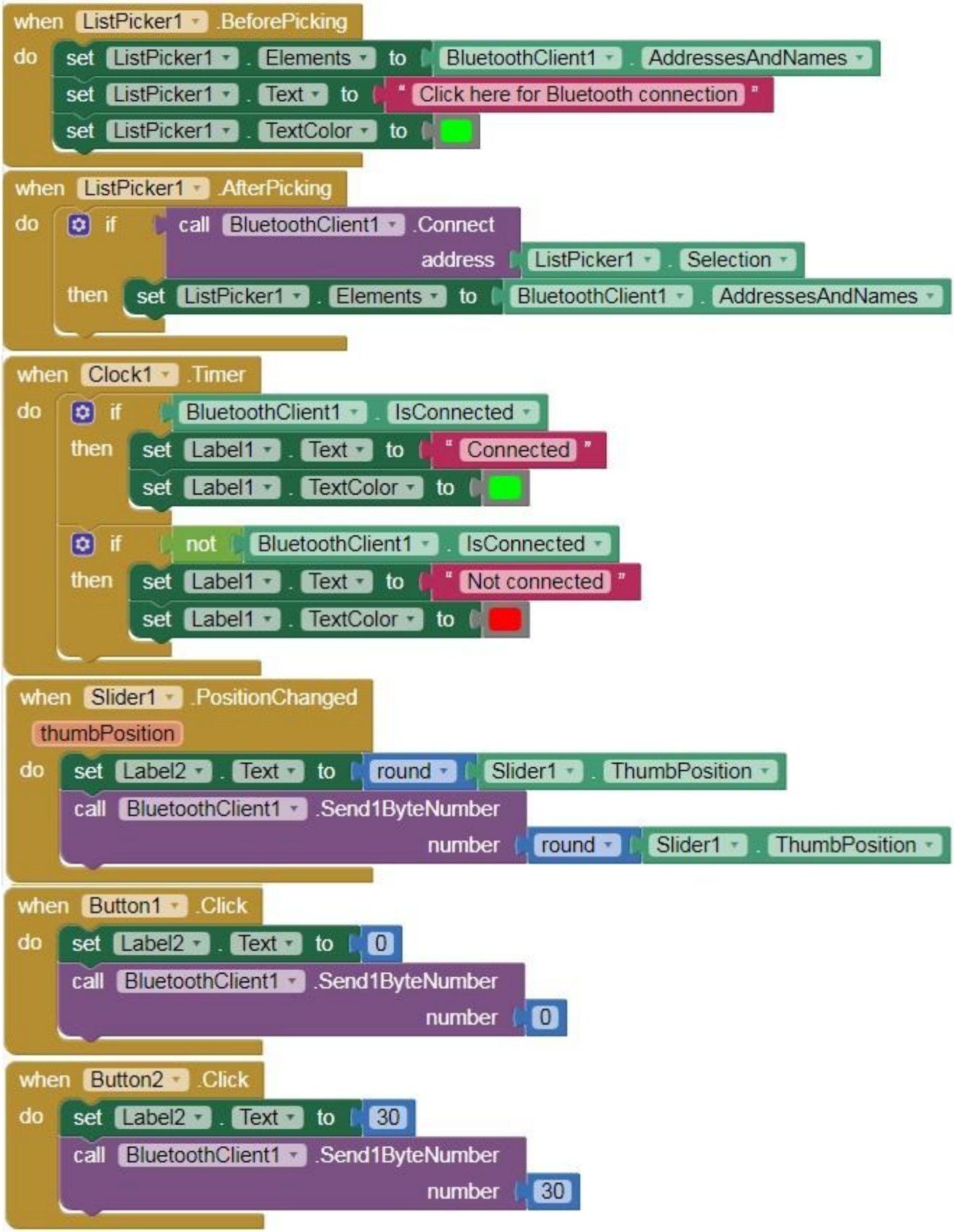
Додаток З

Код взаємодії платформи Arduino з сервоприводом і обчислювальним пристроєм

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>
Servo myservo;
int bluetoothTx = 10;
int bluetoothRx = 11;
SoftwareSerial bluetooth (bluetoothTx, bluetoothRx);
void setup ()
{
myservo.attach (9);
Serial.begin (9600);
bluetooth.begin (9600);
}
void loop ()
{
If (bluetooth.available () > 0 )
{
int servopos = bluetooth.read ();
Serial.println (servopos);
myservo.write (servopos);
}
}
```

Додаток К

Код обчислювального пристрою або програми-інтерфейсу оператора для управління нормою висіву




when Button3 .Click
do set Label2 . Text to 90
call BluetoothClient1 .Send1ByteNumber
number 90
when Button4 .Click
do set Label2 . Text to 150
call BluetoothClient1 .Send1ByteNumber
number 150
when Button5 .Click
do set Label2 . Text to 210
call BluetoothClient1 .Send1ByteNumber
number 210
when Button6 .Click
do set Label2 . Text to 270
call BluetoothClient1 .Send1ByteNumber
number 270
when Button7 .Click
do set Label2 . Text to 330
call BluetoothClient1 .Send1ByteNumber
number 330

Додаток Л

Список публікацій за темою дисертації

Монографії

Л.1. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / А. А. Панков, В. В. Аулин, М. И. Черновол. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.

У фахових виданнях

Л.2. Панков А. А. Целесообразность применения и теоретическое обоснование параметров активного вихревого распределителя семян / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Збірник наукових праць ЛДАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, 2001. – № 10/22. – С. 82–85.

Л.3. Коваль В. Я. Решение третьей задачи виброреологии путем аппроксимации теоретических данных и обобщения полученных результатов для различных сыпучих сред / В. Я. Коваль, Н. И. Волошко, А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КДТУ. – Вип.10. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 59–63.

Л.4. Панков А. А. Преобразование выражений Булевой алгебры последовательным применением принципа двойственности / А. А. Панков, А. Е. Петренко, Ю. А. Корчанова // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 84–86.

Л.5. Волошко Н. И. О разработке конструкции и исследовании вибролемеха плуга / Н. И. Волошко, П. А. Ермак, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 39–41.

Л.6. Панков А. А. Перспективные направления в разработке и совершенствовании высевающих аппаратов рядковых сеялок / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 429–432.

Л.7. Панков А. А. Дифференцированный высев на основе элементной базы струйной пневмоавтоматики / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2003. – № 31/43. – С. 167–170.

Л.8. Панков А. А. Совершенствование дозирующих систем с элементами струйной техники для рядовых культур / А. А. Панков, В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 126–129.

Л.9. Коваль В. Я. Определение силы бокового давления семян подсолнечника на стенку неглубокого сосуда / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 76–84.

Л.10. Панков А. А. Сравнительный анализ эксплуатационных энергетических показателей работы высевающих аппаратов рядовых сеялок / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавницво ЛНАУ, 2005. – № 49/72. – С. 186–194.

Л.11. Панков А. А. Повышение производительности посевных машин на основе рационального использования энергии / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 68/91. – С. 186–193.

Л.12. Панков А. А. Механико-технологические основы снижения энергетических затрат при работе посевных машин / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 65/88. – С. 164–173.

Л.13. Панков А. А. Совершенствование пневматических высевающих аппаратов / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Науковий вісник ЛНАУ. Спеціальн. вип. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2011. – №30. – С.338–341.

Л.14. Применение новых информационных технологий в земледелии [Електронний ресурс] / А. А. Панков, А. В. Щеглов, В. А. Колесников // Наукові вісті Далівського університету. – 2012. – № 9 (180), Ч. 2. – Режим доступу до журналу: http://uran.donntu.org/~masters/2014/igg/knysh/library/17.htm

Л.15. Панков А. А. Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць КНТУ. – Вип. 25, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 61–68.

Л.16. Щеглов А. В. Нижняя подача семян присосками барабана из семенной камеры / А. В. Щеглов, А. А. Панков // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. – № 47. – С. 202–205.

Л.17. Панков А. А. Применение эжекторов в пневмоструйной технике агропромышленного комплекса / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч.І. – С. 326–329.

Л.18. Панков А. А. Актуальность и перспективы создания универсальных модульных машин для выращивания зерновых культур / А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. І. – С. 239–246.

Л.19. Аулин В. В. Технико–экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами / В. В. Аулин, А.А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. 2. – С. 7–14.

Л.20. Черновол М. И. Моделирование силовых пневмоструйных элементов высевающих аппаратов / М. И. Черновол, В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 4. – С. 175–179.

Л.21. Панков А. А. Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 76–82.

Л.22. Аулин В. В. Надёжность рабочих процессов технических средств

АПК с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, Т. Н. Замота // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 5. – С. 117–125.

Л.23. Аулин В. В. Энергетическая концепция развития высевающих систем / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 267–273.

Л.24. Аулин В. В. Конструктивно–компоновочные схемы высевающих систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 142–147.

Л.25. Аулін В. В. Напрями розвитку висіваючих систем / В. В. Аулін, М. І. Черновол, А. О. Панков // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 54–58.

Л.26. Аулин В. В. Исследование формирования исходного потока семян пневмодозатором пунктирного высева / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 2. – С. 27–32.

Л.27. Панков А. А. Энергетические показатели рабочего процесса высевающих аппаратов и систем / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць ЦНТУ. – Вип. 30. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 28–36.

Л.28. Аулин В. В. Экспериментальные исследования струйного высевающего аппарата / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов, Г. И. Анистратов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 67–70.

Л.29. Аулин В. В. Исследование выброса семян пропашных культур пневмоструйным высевающим аппаратом / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 221–225.

Л.30. Аулин В. В. Панков А. А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 2. – С. 116–119.

Л.31. Аулин В. В. Выбор датчика скорости и надежность его работы в блоке управления струйной высевающей системой / В. В. Аулин, А. А. Панков //

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – № 8. – С. 153–158.

Л.32. Аулин В. В. Автоматизация регулирования нормы высева на основе мехатронной реализации программно-аппаратного обеспечения / В. В. Аулин, А.А. Панков, М. И. Черновол, А. Г. Стахорская // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 3. – С. 240–244.

Л.33. Аулин В. В. Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, Ч. 1. – С. 40–46.

В іноземних спеціалізованих виданнях

Л.34. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199. (Закордонне періодичне видання).

Л.35. Аулин В. В. Поточно–программное регулирование рабочих параметров мобильных технологических машин / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. Г. Стахорская // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Poland, Lublin, 2016. – Vol. 18, № 2. – pp. 25–32. (Закордонне періодичне видання).

Л.36. Аулин В. В. Программно–аппаратные средства дифференцированного дозирования технологических материалов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. Труды БГТУ. Серия 1. – Минск: БГТУ, 2017. – № 1 (192). – С. 23–33. (Закордонне періодичне видання).

Л.37. Аулин В. В. Функционально–структурный анализ системы управления нормой высева в информационной системе земледелия / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. Сборник научных статей Международной

научно-практической конференции (Минск, 22-24 ноября 2017 года). – Минск, БГАТУ. – 2017. – С. 72–74. (Закордонне періодичне видання).

Л.38. Aulin V. V. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov, T. M. Zamota, K. K. Panayotov // INMATEH. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 53, № 3. – pp. 21–28. (Закордонне періодичне видання).

Матеріали та тези конференцій

Л.39. Панков А. А. Применение элементов струйной техники в сельском хозяйстве, легкой и пищевой промышленности : матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 20 квітня 2012 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 47–51.

Л.40. Панков А. А., Щеглов А. В. Качественный системный анализ процессов и явлений в техническом обеспечении АПК : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2013 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2013. – Вип.1. – С. 219–221.

Л.41. Панков А. А. Разработка и применение высевающих систем с элементами струйной пневмоавтоматики : матеріали VI Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 19 квітня 2013 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 65–67.

Л.42. Панков А. А. Тенденции развития технических средств для выращивания зерновых культур в агропромышленном комплексе : матеріали Всеукраїнської науково–практичної інтернет–конференції з міжнародною участю [«Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта»], (Луганськ, 4 квітня 2014 р.) / Міністерство освіти, «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2014. – С. 57–58.

Л.43. Панков А. А. Возможности и задачи использования пневмоструйных устройств в технических средствах АПК : материалы IX Международной научно–практической конференции [«Проблемы горного дела и экологии горного производства»], (Антрацит, 24–25 апреля 2014 г.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2014. – С.206–208.

Л.44. Аулин В. В., Панков А. А. Перспективы применения универсальных модульных машин в растениеводстве : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 157–158.

Л.45. Аулин В. В., Панков А. А., Стахорская А. Г. Управление дозирующими устройствами в информационных системах земледелия : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси» (ІПРТК–2016)»], (Київ, 17-18 травня 2016 р.) / Міністерство освіти, К. : НАУ, 2015. – С. 193–195.

Л.46. Аулин В. В., Панков А. А., Щеглов А. В. Повышение эффективности рабочего процесса лесных сеялок на основе применения элементов и устройств пневмоструйной техники : материалы 81 научно–технической конференция профессорско–преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) [«Технология и техника лесной промышленности»], (Минск, 02-07 февраля 2017 г.) / Минск : БГТУ. – С.129–130.

Л.47. Аулин В. В., Панков А. А. Пневмоструйные исполнительные элементы высевающих систем посевных машин : матеріали III Всеукраїнської науково–практичної конференції [«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»], (Житомир, 29–30 березня 2017 р.) / Міністерство освіти, ЖНАУ, 2017. – С. 6–8.

Л.48. Аулин В. В., Панков А. А. Исследование показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок : матеріали XI Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 119-120.

Патенти на корисну модель

Л.49. Пат. 108787 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01983; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.

Л.50. Пат. 112482 Україна, МПК A01C 7/04. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 01982; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.

Л.51. Пат. 114711 Україна, МПК A01C 7/12. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 10952; заявл. дата 31.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

Л.52. Пат. 115046 Україна, МПК A01C 7/12. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № u 2016 11776; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

Л.53. Пат. 115394 Україна, МПК A01C 7/00. Спосіб розподілення технологічного матеріалу / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, Т. М. Замота, А. В. Гриньків (Україна). - № u 2016 11778; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

Л.54. Пат. 116994 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - №u 2016 13580; заявл. дата 29.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.

Л.55. Пат. 122243 Україна, МПК A01C 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - №u 2017 13580; заявл. дата 20.07.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

Додаток М

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського національного
технічного університету
_____ О.М. Левченко
"27" січня 2017р.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор
ТОВ «НВП «Союз-Композит»
_____ О.М. Шаповал
"25" 01 2017р.

АКТ

прийняття до впровадження результатів докторської дисертації
Панкова Андрія Олександровича

Комісія в складі представників Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство «Союз-Композит»: директора з розвитку Шаповала К.О., головного конструктора Дворецюкого Д.Ю. та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: наукового консультанта, доктора технічних наук, професора Ауліна В.В., докторанта Панкова А.О., з іншого боку, склали даний акт про те, що в науково-дослідницькій та проектно-конструкторській діяльності підприємства використовуються наступні основні результати досліджень, одержані по докторській дисертаційній роботі Панкова А.О.:

- теоретичні: термінальні логістичні залежності динаміки показників ефективності конструкцій і робочого процесу посівних машин, що дають змогу визначити необхідність впровадження нових технологій виробництва, конструктивних матеріалів і видів посівної та іншої сільськогосподарської техніки;
- практичні: нові висіваючі апарати і системи з елементами пневмоніки, що відповідають агротехнічним вимогам і дозволяють вдосконалювати існуючі та створювати нові сучасні машини для сівби зернових культур з високою експлуатаційною надійністю, зручністю в обслуговуванні та порівняно низькою вартістю, зі зниженими матеріаломісткістю та енергоємністю робочого процесу, а також можливістю роботи в системах точного інформатизованого землеробства;
- методологічні: розроблене програмне забезпечення для еволюційних обчислень на основі генетичних алгоритмів, яке використовується для прогнозування показників ефективності застосування посівної та іншої сільськогосподарської техніки. Також прийняті до уваги запропоновані виробнику рекомендації з використання та вдосконалення існуючих посівних машин, що дозволяють більш ефективно використовувати парк зернових сівалок та економити трудові і вартісні витрати.

Представники ТОВ «НВП «Союз-Композит»

Директор з розвитку _____ К.О. Шаповал

Гол. конструктор _____ Д.Ю. Дворецький

Представники ЦНТУ

професор _____ В.В. Аулін

докторант _____ А.О. Панков

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського
національного
технічного університету
_____ О.М. Левченко
"20" 03 2017р.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
голова правління ПАТ
" Рівнесільмаш "
_____ Р.І. Басараб
"14" 03 2017р.

АКТ
прийняття до впровадження результатів докторської дисертації
Панкова Андрія Олександровича

Комісія в складі представників ПАТ "Рівнесільмаш": заступника голови правління ПАТ "Рівнесільмаш" Г.Я. Цилюка, головного конструктора ПАТ "Рівнесільмаш" В.Ф. Орлова з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: наукового консультанта, доктора технічних наук, професора Ауліна В.В., докторанта Панкова А.О., з іншого боку, склали даний акт про те, що в науково-дослідницькій та проектно-конструкторській діяльності підприємства використовуються наступні основні результати досліджень, одержані по докторській дисертаційній роботі Панкова А.О.:

- методологічні: розроблене програмне забезпечення для еволюційних обчислень на основі генетичних алгоритмів, яке використовується для прогнозування показників ефективності застосування сільськогосподарської техніки;
- теоретичні: термінальні залежності динаміки показників ефективності конструкцій і робочого процесу сільськогосподарських машин, що дають змогу визначити необхідність впровадження нових технологій виробництва, конструктивних матеріалів і видів техніки;
- практичні: застосування елементів та пристроїв пневмоструминної техніки (пневмоніки) в сільськогосподарських машинах, що дає змогу створювати для сільськогосподарської техніки системи управління з високою експлуатаційною надійністю, енергетичною економічністю, зручністю в обслуговуванні та порівняно низькою вартістю.

Представники ПАТ "Рівнесільмаш"
заступник голови правління
_____ Г.Я. Цилюк

головний конструктор
_____ В.Ф. Орлов

Представники ЦНТУ
професор _____ В.В. Аулін

докторант _____ А.О. Панков

ТОВАРИСТВО
З ДОДАТКОВОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"БУЛАТ"

THE ADDITIONAL
LIABILITY COMPANY
"BULAT"

Юридична адреса: 48120, Україна, Тернопільська обл., смт Микулинці, вул.Тернопільська,35 Телефони: +380-355-151-145, тел/факс : +380-355-151-000	Adress: 48120, 35 Ternopilska St, Mykulyntsi, Ternopil region, Ukraine Tel. +380 355 151-145 Fax. +380-355-151-000

АКТ

впровадження результатів докторської дисертації
Панкова Андрія Олександровича

Комісія в складі представників

ТДВ "Булат":

директора Ковальчука О.В., головного інженера Бабія В.І., з одного боку,

та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: наукового консультанта, професора Ауліна В.В., докторанта Панкова А.О., з іншого боку, склали даний акт про те, що в науково-дослідницькій та проектно-конструкторській діяльності підприємства використовуються результати, одержані по докторській дисертаційній роботі Панкова А.О.

При цьому прийняті до уваги дослідження у галузі сільськогосподарського машинобудування та сільськогосподарської техніки, зокрема стосовно розробки та застосування посівних машин. Найбільш важливим результатом є розробка принципово нових висіваючих апаратів і систем на основі пневмоструминної техніки, що дозволяє вдосконалювати існуючі та створювати нові сучасні машини для сівби зернових культур зі зниженими матеріаломісткістю та енергоємністю робочого процесу, а також можливістю роботи в системах точного інформатизованого землеробства. Важливим результатом є обґрунтування широкого застосування елементів та пристроїв пневмоніки в сільськогосподарській техніці, що дає змогу розробляти системи управління з високою експлуатаційною надійністю, зручністю в обслуговуванні та порівняно низькою вартістю.

Також прийняті до уваги запропоновані рекомендації щодо розробки та використання посівних машин, що дозволяють більш ефективно експлуатувати парк зернових сівалок та економити трудові і вартісні витрати.

Для науково-дослідницької діяльності підприємства корисними є дослідження з прогнозування розвитку сільськогосподарської техніки на основі порівняно нових методів, таких як еволюційні обчислення з використанням генетичних алгоритмів. Це дає змогу визначити своєчасність та необхідність впровадження нових та вдосконалення існуючих машин.

Представники ТДВ "Булат"

директор _____ Ковальчук О.В.

Головний інженер _____ Бабій В.І.

Представники ЦНТУ

професор _____ В.В. Аулін

докторант _____ А.О. Панков

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського національного
технічного університету
_____ О.М. Левченко
"___" _____ 2017р.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор
ПП «Астарта Груп»
м. Кропивницький
_____ С.М. Будак
"___" _____ 2017р.

А К Т

прийняття до впровадження результатів досліджень по докторській дисертації Панкова Андрія Олександровича у виробничому процесі

Комісія в складі представників ПП «Астарта Груп», м.Кропивницький голови: директора С.М. Будака, начальника виробництва О.П. Трапезнікова з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: наукового консультанта д.т.н., професора Ауліна В.В., докторанта Панкова А.О., завідувача кафедри сільськогосподарського машинобудування д.т.н., проф. Свірня М.О. з іншого боку, склали даний акт про те, що у ПП "Астарта Груп" прийнято до впровадження основні результати по докторській дисертаційній роботі Панкова А.О., які стосуються підвищення ефективності зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії та розроблення інноваційних конструкцій:

- універсального висівного апарату без рухомих деталей;
- висівного апарату з вихровим клапаном;
- висівного апарату з пневматичним підсилювачем;
- маятникового висівного апарату;
- струминного вихрового розподілювача насіння;
- висівної системи з універсальним висівним апаратом та струминним вихровим розподілювачем.

Запропоновані конструкції пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами струминної техніки дозволяють вдосконалювати існуючі та створювати нові сучасні машини для сівби зернових культур зі зниженими до 12% матеріаломісткістю та енергоємністю робочого процесу, у порівнянні з існуючими висівними пристроями, і при цьому забезпечити всі необхідні агротехнічні вимоги з одночасним зниженням витрат праці та коштів.

Представники ЦНТУ
професор _____ В.В. Аулін
професор _____ М.О. Свірінь
докторант _____ А.О. Панков

Представники ПП «Астарта Груп»
начальник
виробництва _____ О.П. Трапезніков

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського
національного
технічного університету
_____ О.М. Левченко
"26" 08 2017р.

ТОВАРИСТВО "СВК Україна"
27013, с.Тишківка
Кіровоградська область
вул. Чкалова, 3
ВАТ "РАЙФФАЙЗЕН БАНК АВАЛЬ"
м. Київ МФО 380805
код 03756566
тел./факс (05253) 55-20-7
с. Тишківка

АКТ
прийняття до впровадження результатів докторської дисертації
Панкова Андрія Олександровича

Комісія в складі представників ТОВ "СВК Україна", голови: генерального директора ТОВ "СВК Україна" Кошмана М.В., членів комісії: головного бухгалтера Лещенко Т.І., головного інженера Прихідько А.М., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: наукового консультанта, доктора технічних наук, професора Ауліна В.В., докторанта Панкова А.О., з іншого боку, склали даний акт про те, що у ТОВ "СВК Україна прийняті до впровадження основні результати досліджень, одержані по дисертаційній роботі докторанта Панкова А.О.

Комісія дійшла висновку, що розроблені нові висіваючі апарати та системи з елементами пневмоніки дозволяють вдосконалювати існуючі та створювати нові машини для сівби зернових культур зі зниженими матеріаломісткістю та енергоємністю робочого процесу, а також можливістю роботи в системах точного інформатизованого землеробства.

При цьому робочий процес розроблених висіваючих апаратів відповідає агротехнічним вимогам для сівби зернових культур: відхилення фактичної норми висіву насіння від заданої не перевищує 3%, а нерівномірність сівби по сошниках не перевищує 6%. Пошкодження насіння в процесі сівби повністю відсутнє.

Налаштування висіваючих систем на норму сівби є легким і зручним, та полягає у перемиканні ніпелів у блоці управління. Це дозволяє економити час та підвищити коефіцієнт використання посівних агрегатів впродовж зміни.

Також прийняті до уваги запропоновані виробнику методичні рекомендації з використання існуючих посівних машин, що дозволяють більш ефективно використовувати парк зернових сівалок та економити трудові і вартісні витрати.

Представники ТОВ "СВК Україна:

Ген. директор _____ М.В. Кошман
Гол. бухгалтер _____ Т.І. Лещенко
Гол. інженер _____ А.М. Прихідько

Представники ЦНТУ

професор _____ В.В. Аулін
докторант _____ А.О. Панков

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського національного
технічного університету
_____О.М. Левченко
"8" вересня 2017р.

АКТ
впровадження в навчальний процес результатів досліджень
по темі дисертаційної роботи докторанта
Панкова Андрія Олександровича

Напрямом досліджень дисертаційної роботи докторанта кафедри експлуатації та ремонту машин Панкова А.О. є підвищення показників ефективності конструкцій та робочого процесу посівних машин для зернових культур на основі застосування висіваючих систем з елементами пневмоструминної автоматики, або пневмоніки.

Теоретичними дослідженнями на основі еволюційно-статистичних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів встановлено кількісні показники ефективності машин для сівби. Знайдені логістичні залежності є простим і в той же час реалістичним описом динаміки зміни показників ефективності машин з плином часу та показують тенденцію втрати потенціалу ефективності внаслідок фіксованої кількості ресурсів або енергії, закладених в принципі дії машин. Це дозволяє визначити необхідність впровадження нових технологій виробництва, конструктивних матеріалів і видів посівної техніки.

В роботі запропоновано методику еволюційного обчислення ефективного життєвого циклу технічних систем та прогнозування показників роботи і розвитку машин за допомогою програмного забезпечення на основі генетичних алгоритмів

Виходячи з цього, розроблено та досліджено зразки висіваючих апаратів та систем з елементами пневмоніки, з підвищеним коефіцієнтом корисної дії та зі зниженим енергоспоживанням, які дозволяють вдосконалювати існуючі та створювати нові машини для сівби та здійснювати диференційовану сівбу в інформаційних системах землеробства.

Результати дисертаційної роботи Панкова А.О. використовуються у навчальному процесі при проведенні лекційних, лабораторних та практичних занять по дисциплінам "Теорія технічних систем", "Математичне моделювання технічних систем і процесів", "Технологія виробництва сільськогосподарської продукції", "Прогнозування та напрямки розвитку сільськогосподарської техніки", "Основи автоматики та автоматизації сільськогосподарської техніки", "Технології механізованих робіт в рослинництві", "Надійність сільськогосподарської техніки" та інших дисциплінах на кафедрі "Експлуатація та ремонт машин" Центральноукраїнського національного технічного університету.

Акт обговорено і схвалено на засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт машин» (протокол № 1 від "6" вересня 2017 р.).

Завідуючий кафедрою «Експлуатація та ремонт машин», д.т.н., професор, Заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент НААНУ _____ М.І. Черновол

Секретар кафедри _____ О.В. Крилов

Додаток Н

Патенти України на корисні моделі

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 108787

ПНЕВМАТИЧНА ВИСІВНА СИСТЕМА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.07.2016.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 112482

СПОСІБ ПНЕВМОСТРУМИННОГО ВИСІВУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.12.2016.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 114711

СПОСІБ ПНЕВМОСТРУМИННОГО ВИСІВУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.03.2017.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 115046

ПНЕВМАТИЧНА ВИСІВНА СИСТЕМА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **27.03.2017.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552555
№1

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 115394

СПОСІБ РОЗПОДІЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.04.2017.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 116994

ПНЕВМАТИЧНА ВИСІВНА СИСТЕМА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **12.06.2017.**

Заступник міністра економічного
розвитку і торгівлі України М.І.Тітарчук

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ * ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ КОД 37508596 *

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 122243

ПНЕВМАТИЧНА ВИСІВНА СИСТЕМА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.12.2017.**

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України М.І. Тітарчук

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ КОД 37508596