ISSN 3154-8059

УДК 631.331:62-047.37 https://doi.org/10.31713/vs320264

Бундза О. З. [1; ORCID ID: 0000-0003-3770-0273],
к.т.н., доцент,
Пилипака Т. С. [1; ORCID ID: 0009-0000-5582-1859],
к.т.н., доцент,
Михайлов А. О. [1; ORCID ID: 0009-0003-8816-9571],
аспірант

[1]Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

МОРФОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ ВИСІВНОГО АПАРАТА СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ

У статті розглянуто застосування морфологічного синтезу для створення висівного апарата сівалки точного висіву. Обґрунтовано необхідність системного пошуку конструктивних рішень, що забезпечують підвищення точності поштучного дозування насіння, стабільність технологічного процесу та можливість адаптації апарата до різних умов роботи. Запропоновано методичний підхід, який передбачає функціональну декомпозицію висівного апарата, визначення альтернативних способів реалізації його основних функцій та формування морфологічної матриці. Як основні морфологічні ознаки розглянуто спосіб подачі насіння, тип дозувального елемента, принцип захоплення й утримання насінини, спосіб видалення двійників, транспортування та скидання насіння, тип приводу і спосіб регулювання робочих параметрів. Визначено теоретичну множину можливих конструктивних комбінацій та запропоновано послідовне скорочення простору пошуку шляхом перевірки функціональної сумісності елементів. Для вибору раціонального варіанта передбачено багатокритеріальне оцінювання за показниками точності висіву, надійності, конструктивної простоти, енергомісткості, універсальності та вартості. За результатами морфологічного синтезу обґрунтовано перспективність конструктивної схеми з дисковим дозувальним елементом, вакуумним захопленням насіння, регульованим відсікачем двійників, індивідуальним електричним приводом та автоматичним регулюванням робочих параметрів.

Ключові слова: морфологічний синтез; морфологічна матриця; сівалка точного висіву; висівний апарат; дозування насіння; висівний диск; вакуумний висівний апарат**.**

Вступ. Забезпечення високої ефективності виробництва продукції рослинництва значною мірою залежить від якості

виконання технологічних операцій, серед яких особливе місце посідає сівба. Саме під час сівби формуються початкові умови для росту і розвитку рослин, визначаються густота посіву, площа живлення та просторове розміщення рослин. Для просапних культур важливим є забезпечення поштучного висіву насіння із заданим інтервалом у рядку, мінімальної кількості пропусків і двійників та стабільного дотримання норми висіву незалежно від зміни швидкості руху посівного агрегату. Тому технічний рівень сівалки точного висіву значною мірою визначається конструкцією та параметрами її висівного апарата.

Розвиток конструкцій висівних апаратів відбувається у напрямі підвищення точності дозування насіння, збільшення робочої швидкості, зменшення пошкодження посівного матеріалу та забезпечення можливості роботи з насінням різних культур. Системний аналіз конструкцій апаратів точного висіву свідчить про значну кількість технічних рішень, що відрізняються принципом дозування, конструкцією робочого органу, способом захоплення та утримання насінини, характером її транспортування і скидання [1]. Сучасні дослідження підтверджують подальший розвиток як механічних, так і пневматичних конструкцій висівних апаратів, кожна з яких характеризується певними технологічними та конструктивними перевагами і обмеженнями [2].

Особливого поширення у сівалках точного висіву набули пневматичні висівні апарати, в яких поштучне відокремлення насіння забезпечується за рахунок використання перепаду тиску. Аналіз їх конструкцій показує значне різноманіття схем із вертикальними та горизонтальними висівними дисками, різними способами створення розрідження, відокремлення зайвих насінин та їх скидання [2]. Поряд із цим продовжується розроблення механічних та пневмомеханічних апаратів, спрямованих на спрощення конструкції та забезпечення стабільного однозернового дозування [3; 4]. Українськими дослідниками запропоновано, зокрема, конструкції механічних однозернових [3], гвинтових [5] та пневмомеханічних висівних апаратів [4], що підтверджує наявність широкого спектра можливих способів реалізації процесу точного висіву.

Одним із сучасних напрямів удосконалення посівної техніки є застосування індивідуального електричного приводу висівних апаратів. Результати досліджень сівалки універсальної пневматичної «VEGA-8» показують можливість використання електроприводу для

ISSN 3154-8059

керування роботою висівних апаратів і подальшого вдосконалення технологічного процесу сівби [6]. Поєднання електричного приводу із засобами електронного контролю створює передумови для незалежного регулювання режимів роботи окремих висівних секцій та їх інтеграції із системами точного землеробства.

Удосконалення лише окремих конструктивних параметрів існуючого висівного апарата не завжди дозволяє повною мірою реалізувати можливі технічні рішення. На початковому етапі створення нової машини важливим є системний пошук альтернативних структур, за якого об'єкт проєктування розглядається як сукупність функціональних елементів, кожний із яких може бути реалізований декількома способами. Одним із методів вирішення такого завдання є морфологічний аналіз і синтез. Його застосування передбачає декомпозицію складної технічної системи на функціональні складові, визначення альтернативних варіантів реалізації кожної складової та формування можливих конструктивних рішень шляхом їх систематизованого комбінування [7].

Для висівного апарата сівалки точного висіву такий підхід є особливо доцільним, оскільки його технологічний процес складається з послідовних операцій: надходження насіння до зони дозування, поштучного відокремлення насінин, їх захоплення, утримання, транспортування, видалення зайвих насінин, скидання та спрямування до борозни. Кожна із зазначених операцій може бути реалізована різними конструктивними способами. Відповідно, поєднання альтернативних принципів дозування, типів робочих елементів, способів утримання та скидання насіння, конструкцій селекторів, типів приводів і систем регулювання утворює значну множину потенційних конструктивних схем. Використання морфологічного синтезу дозволяє перейти від традиційного удосконалення окремого прототипу до систематизованого формування множини можливих структур висівного апарата. При цьому стає можливим не лише встановлення відомих поєднань конструктивних елементів, але й пошук нових комбінацій, які можуть забезпечувати підвищення точності дозування, адаптацію до насіння різних культур, зменшення його механічного пошкодження, можливість індивідуального електричного приводу та автоматичного регулювання робочих параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення якості точного висіву насіння просапних культур залишається одним із важливих напрямів удосконалення посівних машин. Визначальним

елементом сівалки точного висіву є висівний апарат, функціональне призначення якого полягає у поштучному відокремленні насінин із загальної маси, їх утриманні на робочому органі, транспортуванні до зони скидання та подачі до борозни із заданою частотою. Якість виконання цих операцій визначає рівномірність розподілу насіння у рядку, кількість пропусків і подвійних подач, а також значною мірою формує початкові умови для росту та розвитку рослин.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що висівні апарати сівалок точного висіву характеризуються значною різноманітністю принципів дії та конструктивного виконання. К. В. Васильковська провела системний аналіз конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів для точного висіву насіння просапних культур [1]. Автором встановлено, що найбільш поширені пневмомеханічні висівні апарати за конструктивним виконанням можуть бути дисковими або барабанними, а за способом використання повітряного потоку – вакуумними або такими, що працюють із надлишковим тиском. Проведений аналіз засвідчив наявність значної кількості конструктивних схем, кожна з яких характеризується певними перевагами та недоліками щодо точності дозування, складності конструкції та умов експлуатації.

Подальший розвиток пневматичних систем точного висіву розглянуто Р. В. Ференцом, К. В. Васильковською та Р. В. Кірчуком [2]. Дослідниками проаналізовано конструктивні особливості висівних апаратів сучасних просапних сівалок та встановлено, що значного поширення набули вакуумні апарати дискового типу. До переваг належать можливість забезпечення поштучного дозування насіння, відносно компактні розміри та зниження ймовірності механічного травмування насіннєвого матеріалу. Водночас ефективність таких апаратів залежить від узгодження конструктивних і режимних параметрів робочих елементів, характеристик пневматичної системи та фізико-механічних властивостей насіння.

Результати зазначених досліджень свідчать, що подальше вдосконалення висівних апаратів не повинно обмежуватися лише зміною окремого конструктивного параметра. Значний резерв підвищення ефективності може полягати у формуванні нових поєднань уже відомих принципів і технічних рішень: способу захоплення насінини, конструкції дозувального органу, орієнтації робочого елемента, способу відокремлення зайвих насінин, механізму їх скидання та типу приводу.

ISSN 3154-8059

Одним із напрямів реалізації такого підходу є створення комбінованих пневмомеханічних висівних систем. К. В. Васильковська та Р. В. Ференц запропонували конструктивне рішення пневмомеханічного висівного апарата точного висіву [3]. Його розроблення спрямоване на удосконалення процесу поштучного дозування насіння шляхом раціонального поєднання механічних і пневматичних елементів. Наявність подібних комбінованих конструкцій підтверджує перспективність структурного пошуку, за якого в одній технічній системі можуть бути поєднані елементи, що ґрунтуються на різних фізичних принципах дії.

Окремий напрям розвитку становлять механічні висівні апарати. Відомі конструкції однозернових апаратів, у яких процес відокремлення насіння забезпечується комірчастими, дисковими, гвинтовими та іншими робочими органами [4; 5]. Їхніми перевагами є відсутність необхідності створення вакууму або надлишкового тиску, можливість спрощення конструкції та зменшення енергетичних витрат на функціонування пневматичної системи. Водночас механічна взаємодія робочого органу з насінням висуває підвищені вимоги до відповідності геометричних параметрів дозувальних елементів розмірним характеристикам насіннєвого матеріалу.

У фундаментальних працях з конструювання висівних систем показано, що розвиток висівних апаратів відбувається шляхом удосконалення форми і параметрів дозувальних елементів, зміни способів захоплення насіння, використання різних принципів його утримання та транспортування [8; 9]. Це обумовлює формування значної кількості можливих конструктивних схем і створює передумови для застосування системних методів пошуку нових технічних рішень.

Важливим напрямом розвитку сівалок точного висіву є також удосконалення приводу дозувальних систем. Застосування індивідуального електричного приводу висівних апаратів дозволяє відмовитися від жорсткого механічного зв'язку частоти обертання висівного елемента з опорно-приводним колесом сівалки, створює можливість оперативної зміни норми висіву та незалежного керування окремими посівними секціями. Дослідження ефективності використання електроприводу висівних апаратів пневматичної сівалки «VEGA-8» підтверджують практичну можливість реалізації такого підходу [6]. З позицій структурного синтезу це означає появу додаткової морфологічної ознаки – типу приводу висівного апарата, альтернативами якої можуть бути механічний, електричний,

гідравлічний або комбінований привод.

Таким чином, розвиток висівних апаратів відбувається одночасно за декількома конструктивними напрямами. Змінюються принцип дозування насіння, форма та орієнтація робочого органу, спосіб створення сили утримання насінини, конструкція пристроїв для видалення двійників, спосіб скидання насіння, тип приводу та система регулювання. Кожна із зазначених ознак може мати декілька альтернативних варіантів виконання. Внаслідок цього навіть за порівняно невеликої кількості конструктивних ознак утворюється значна множина можливих структур висівного апарата.

Вирішення подібних завдань традиційними методами послідовного перебору конструктивних рішень є складним через швидке збільшення кількості можливих комбінацій. Перспективним для цього є застосування методів морфологічного аналізу та синтезу. Морфологічний підхід передбачає декомпозицію технічного об'єкта на функціональні елементи, встановлення альтернативних способів реалізації кожної функції та систематизоване комбінування отриманих варіантів. І. Б. Радяк [7] зазначає, що використання морфологічної матриці у машинобудуванні дозволяє структуровано представляти множину потенційних комбінацій функціональних елементів та використовувати їх для пошуку нових конструктивних концепцій.

Для висівного апарата сівалки точного висіву застосування такого підходу є особливо доцільним. Технологічний процес дозування можна декомпозувати на окремі функції: подавання насіння до робочого органу, поштучне відокремлення, захоплення та утримання насінини, видалення зайвих насінин, переміщення до зони скидання, звільнення від дозувального елемента та подавання до борозни.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення методичного підходу до морфологічного синтезу висівного апарата сівалки точного висіву для формування та вибору раціональної конструктивної схеми. Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити функціональну декомпозицію висівного апарата, сформувати морфологічну матрицю альтернативних технічних рішень, визначити їх конструктивну сумісність та провести багатокритеріальне оцінювання сформованих варіантів.

Виклад основних результатів та їх обговорення. Створення висівного апарата сівалки точного висіву є багатоваріантним конструкторським завданням, оскільки технологічний процес поштучного дозування насіння може бути реалізований різними

ISSN 3154-8059

фізичними принципами, робочими органами, приводами та системами регулювання. За традиційного підходу конструктор, як правило, удосконалює окремий прототип, змінюючи його геометричні або режимні параметри. Такий підхід є ефективним на стадії параметричної оптимізації, однак обмежує пошук принципово нових структурних рішень.

Запропоновану схему морфологічного синтезу висівного апарата наведено на рис. 1. Вона передбачає послідовне виконання функціональної декомпозиції об'єкта, формування альтернативних варіантів реалізації кожної функції, побудову морфологічної матриці, генерування конструктивних комбінацій, перевірку їх функціональної сумісності, багатокритеріальне оцінювання та вибір раціональної конструктивної схеми.

На першому етапі висівний апарат розглядається як сукупність взаємопов'язаних функціональних підсистем, послідовна робота яких забезпечує формування одиничного потоку насіння та його подавання до сошника. Відповідно до функціональної схеми виділено вісім основних функцій: подача насіння до зони дозування Φ_1; дозування і відокремлення окремої насінини Φ_2; захоплення та утримання насінини Φ_3; видалення зайвих насінин і двійників Φ_4; транспортування насінини до зони скидання Φ_5; скидання насінини у сошник Φ_6; привод висівного апарата Φ_7; регулювання робочих параметрів Φ_8.

Для функції Φ_1 можливими альтернативами є гравітаційна подача з бункера, вібраційний, шнековий та стрічковий живильники. Гравітаційна подача характеризується конструктивною простотою та низькою енергоємністю. Активні живильники доцільні у випадках, коли необхідно стабілізувати надходження насіння до дозувальної зони або забезпечити роботу з матеріалом, схильним до утворення склепінь.

Функція Φ_2 визначає принцип поштучного дозування. Як альтернативні робочі органи розглянуто диск, барабан, комірчастий та гвинтовий дозувальні елементи. Дисковий робочий орган є зручним для реалізації пневматичного принципу дозування, оскільки присмоктувальні отвори можуть бути рівномірно розташовані по колу. Барабанні та комірчасті системи допускають механічне або пневматичне відокремлення насіння, тоді як гвинтовий елемент забезпечує дозування за рахунок переміщення насіння вздовж гвинтової поверхні.

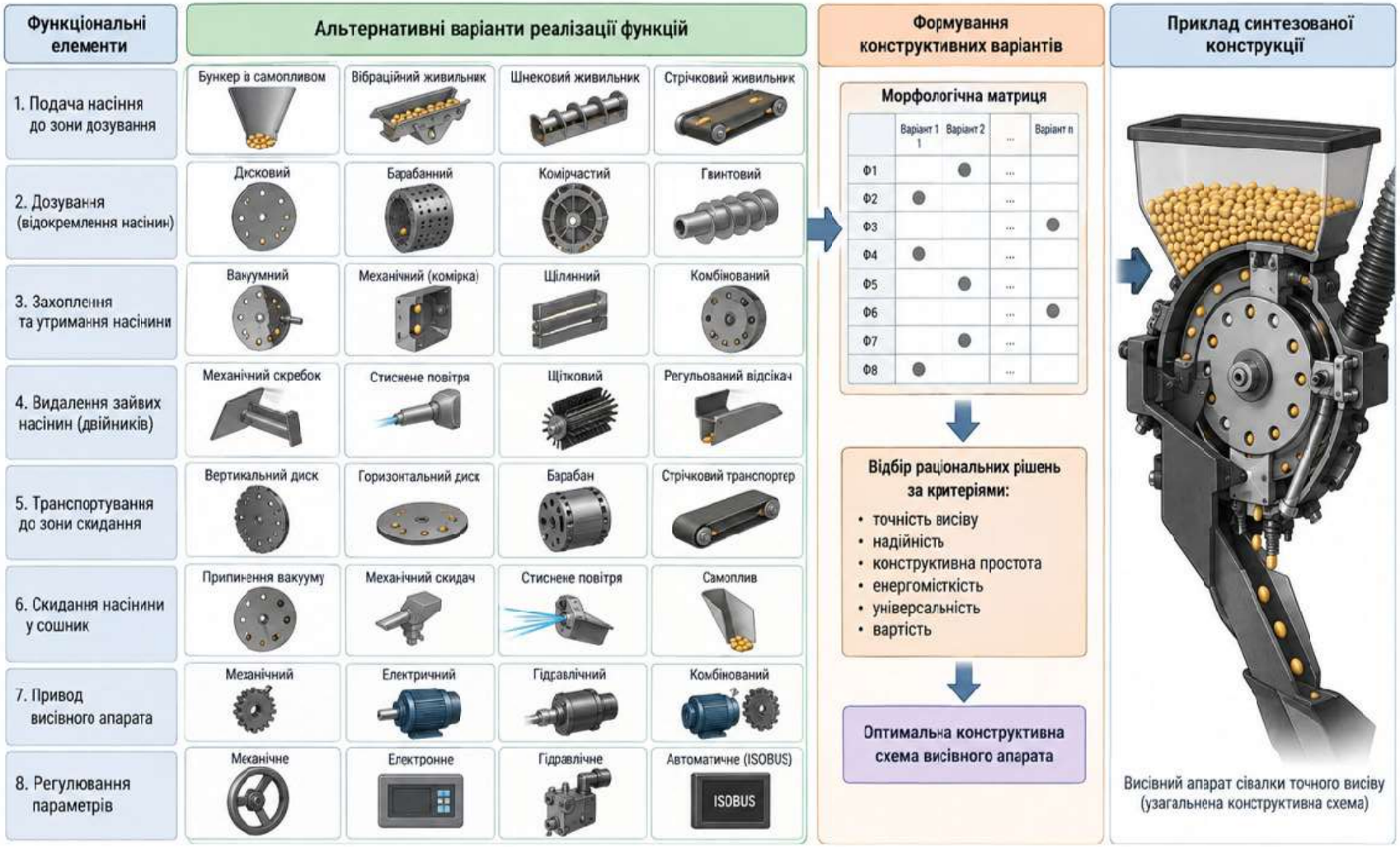


Рисунок. Схема морфологічного синтезу висівного апарата сівалки точного висіву

 ISSN 3154-8059

Для реалізації функції Φ_3 передбачено вакуумний, механічний, щілинний та комбінований способи захоплення і утримання насінини. Для вакуумно-дискового апарата сила, що притискає насінину до присмоктувального отвору, визначається перепадом тиску та площею отвору за формулою (1):

$$\Phi_{\text{v}} = \Delta p \cdot A_{\text{o}}, \quad (1)$$

де Φ_v – сила вакуумного утримання насінини, Н; Δр – перепад тиску між вакуумною камерою та навколишнім середовищем, Па; A_0 – ефективна площа присмоктувального отвору, м² (2):

$$A_{\text{o}} = \pi \cdot {d_{\text{o}}}^2 / 4, \quad (2)$$

де d_0 – діаметр присмоктувального отвору, м.

Наведені залежності показують, що надійність захоплення насінини визначається одночасно параметрами пневматичної системи та геометрією дозувального елемента. Надмірне збільшення розрідження або площі отвору може сприяти захопленню двох і більше насінин, тому вакуумна підсистема повинна працювати узгоджено із пристроєм видалення двійників.

Для функції Φ_4 морфологічна матриця включає механічний шкребок, повітряний потік, щітковий елемент та регульований відсікач. Призначення цих пристроїв полягає у видаленні зайвих насінин із дозувального елемента без порушення утримання основної насінини. Регульований відсікач є перспективним рішенням для універсального висівного апарата, оскільки його положення може коригуватися відповідно до розмірно-масових характеристик насіння.

Функція Φ_5 характеризує спосіб транспортування насіння до зони скидання. Як альтернативи розглянуто вертикально і горизонтально орієнтовані диски, барабан та стрічковий транспортер. Вибір цієї ознаки необхідно узгоджувати зі способом утримання насінини, оскільки орієнтація робочого органу визначає напрям дії сили тяжіння, конструкцію вакуумної камери, положення відсікача та траєкторію переміщення насіння.

Скидання насінини Φ_6 може здійснюватися припиненням дії вакууму, механічним скидачем, імпульсом стисненого повітря або самопливом. Для вакуумно-дискової конструкції природним способом є припинення розрідження у визначеній кутовій зоні. За підвищених швидкісних режимів додатковий механічний або пневматичний вплив може бути використаний для стабілізації моменту відокремлення насінини та зменшення відхилення її траєкторії.

Окремою морфологічною ознакою є привод висівного апарата Φ_7 . Розглянуто механічний, електричний, гідравлічний і комбінований варіанти. Механічний привод від опорно-приводного колеса є конструктивно простим, однак його точність залежить від буксування колеса та стану кінематичної передачі. Індивідуальний електричний привод дозволяє безпосередньо змінювати частоту обертання дозувального елемента залежно від швидкості руху та заданої норми висіву (3):

$$n_d = 60 \cdot v / (z \cdot l) , \quad (3)$$

де n_d – частота обертання висівного диска, хв$^{-1}$; v – швидкість руху сівалки, м/с; z – кількість дозувальних отворів або комірок на диску; l – заданий інтервал між насінинами у рядку, м. Залежність (3) показує, що зі збільшенням швидкості руху для збереження заданого інтервалу між насінинами необхідно пропорційно збільшувати частоту обертання висівного диска.

Функція Φ_8 характеризує спосіб регулювання параметрів. У морфологічній матриці передбачено механічне, електронне, гідравлічне та автоматичне регулювання. Автоматичний варіант створює можливість адаптації частоти обертання дозувального елемента, величини розрідження та інших параметрів до фактичної швидкості руху, норми висіву і сигналів системи контролю. У разі інтеграції з ISOBUS така структура може бути складовою цифрової системи керування посівним агрегатом.

Сукупність альтернатив за функціями Φ_1 – Φ_8 формує морфологічну матрицю. Конкретна конструкція утворюється вибором одного варіанта реалізації кожної функції. Якщо для кожної з восьми функцій прийнято по чотири альтернативи, початковий простір пошуку містить таку кількість комбінацій (4):

$$N = 4^8 = 65\,536 . \quad (4)$$

Отримана кількість характеризує лише теоретичний морфологічний простір. Значна частина комбінацій є функціонально несумісною або конструктивно недоцільною. Наприклад, припинення вакууму як спосіб скидання не має функціонального змісту для апарата з виключно механічним утриманням насіння. Аналогічно вибір вакуумного захоплення потребує наявності системи створення розрідження та герметичної вакуумної камери (5):

$$c_{\text{ij}} = 1 - \text{елементи сумісні};$$
$$c_{\text{ij}} = 0 - \text{елементи несумісні} . \quad (5)$$

 ISSN 3154-8059

Коефіцієнт c_{ij} використовується для попереднього відсіву морфологічних комбінацій. До подальшого оцінювання допускаються лише варіанти, у яких усі обрані функціональні елементи є взаємно сумісними. Такий етап суттєво скорочує кількість рішень, що потребують детального конструкторського опрацювання.

Після перевірки сумісності конструктивні варіанти оцінюються за системою критеріїв. Відповідно до рисунку основними критеріями є точність висіву, надійність, конструктивна простота, енергомісткість, універсальність і вартість. Для поглибленої оцінки доцільно також враховувати пошкодження насіння, можливість автоматизації, ремонтопридатність та технологічність виготовлення.

Оскільки критерії мають різну фізичну природу та одиниці вимірювання, їх значення попередньо нормуються. Після нормування комплексний показник j-го конструктивного варіанта визначається як зважена сума часткових оцінок (6):

$$K_j = w_1 q_{1j} + w_2 q_{2j} + \ldots + w_m q_{mj}\,, \quad (6)$$

де K_j – комплексний показник j-го конструктивного варіанта; q_{ij} – нормована оцінка j-го варіанта за і-м критерієм; w_i – ваговий коефіцієнт відповідного критерію; m – кількість критеріїв (7):

$$w_1 + w_2 + \ldots + w_m = 1\,. \quad (7)$$

Для висівного апарата найбільшу вагу доцільно надавати критеріям, що безпосередньо характеризують виконання основної технологічної функції: точності поштучного дозування, мінімізації пропусків і двійників, стабільності інтервалів між насінинами та збереженню посівних властивостей насіння. Конкретні значення вагових коефіцієнтів повинні встановлюватися для заданих умов проєктування експертним або експериментальним методом (8):

$$K_opt = max(K_1, K_2, \ldots, K_s)\,. \quad (8)$$

Раціональною в межах прийнятої системи критеріїв вважається конструкція, для якої комплексний показник набуває найбільшого значення. При цьому s означає кількість функціонально сумісних варіантів, що залишилися після попереднього відсіву.

Відповідно до наведеної на рисунку структури як перспективний результат морфологічного синтезу може бути розглянута конструкція, що поєднує гравітаційну подачу насіння з бункера, дисковий дозувальний елемент, вакуумне захоплення насінин, регульований відсікач двійників, транспортування вертикально орієнтованим диском, скидання шляхом припинення дії вакууму, індивідуальний електричний привод та автоматичне регулювання параметрів.

У такій схемі насіння під дією сили тяжіння надходить із бункера

до нижньої частини висівної камери. У зоні заповнення за рахунок перепаду тиску насінини притискаються до присмоктувальних отворів обертового диска. Під час проходження зони відсікання зайві насінини видаляються, після чого на кожному робочому отворі повинна залишатися одна насінина. Диск переміщує її до зони скидання, де вакуум припиняється, насінина відокремлюється від поверхні диска і спрямовується до насіннєпроводу та сошника. Електричний привод забезпечує регулювання частоти обертання диска відповідно до фактичної швидкості руху агрегату та заданого інтервалу висіву. Водночас результат морфологічного синтезу слід розглядати як обґрунтування структурної схеми, а не як остаточне визначення всіх параметрів висівного апарата.

Висновки. У результаті дослідження розроблено методичний підхід до морфологічного синтезу висівного апарата сівалки точного висіву, що передбачає його функціональну декомпозицію, формування морфологічної матриці та систематизований пошук конструктивних рішень. Запропоновано здійснювати відбір перспективних варіантів шляхом перевірки сумісності функціональних елементів та їх багатокритеріального оцінювання за показниками точності висіву, надійності, конструктивної простоти, енергомісткості, універсальності й вартості. Встановлено перспективність конструктивної схеми з дисковим дозувальним елементом, вакуумним захопленням насіння, регульованим відсікачем двійників, індивідуальним електричним приводом та автоматичним регулюванням робочих параметрів, яка потребує подальшої параметричної оптимізації й експериментальної перевірки.

1. Васильковська К. В. Системний аналіз конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів для точного висіву насіння просапних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.* 2018. Вип. 48. С. 22–35. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.22-35. **2.** Ференц Р. В., Васильковська К. В., Кірчук Р. В. Огляд конструкцій пневматичних висівних апаратів сівалок. *Сільськогосподарські машини.* 2024. Вип. 50. С. 104–112. DOI: https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1387. **3.** Васильковська К. В., Ференц Р. В. Розробка конструкції пневмомеханічного висівного апарата точного висіву. *Сучасні проблеми землеробської механіки* : зб. тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції, 17–19 жовтня 2024 р. Київ : НУБіП України, 2024. С. 90–93. **4.** Лотоцький Р. І., Заєць М. Л., Гевко Б. М., Дзюра В. О., Павельчук Ю. Ф. Механічний однозерновий висівний апарат : пат. 76866 Україна: МПК A01C 7/04. Опубл. 25.01.2013. **5.** Гевко І. Б., Чвартацький І. І., Драган А. П., Білик С. Г. Гвинтовий висівний апарат точного висіву насіння : пат. 14591 Україна: МПК A01C 7/04. Опубл. 15.05.2006. **6.** Легкодух І.,

 ISSN 3154-8059

Демидов С., Стародубцева М. Дослідження ефективності застосування електропривода висівних апаратів під час роботи сівалки універсальної пневматичної «VEGA-8» (результати випробувань). *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України.* 2019. № 24 (38). С. 113–123. **7.** Radiak I. B. Morphological Analysis: an Efficient Design Method in Industrial Mechanical. *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects*. 2024. P. 64–67. DOI: https://doi.org/10.36930/conf150.2.1. **8.** Сисолін П. В., Свірень М. О. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів) : посіб. для студ. вищ. навч. закл. Кіровоградський національний технічний університет, 2004. 159 с. **9.** Бойко А. І., Свірень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин : навч. посіб. Київ : Техніка, 2003. 203 с. **10.** Аніскевич Л. В. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК.* 2014. Вип. 196, ч. 2. С. 264–277.

REFERENCES:

1. Vasylkovska K. V. Systemnyi analiz konstruktsii pnevmomekhanichnykh vysivnykh aparativ dlia tochnoho vysivu nasinnia prosapnykh kultur. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. 2018. Vyp. 48. S. 22–35. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.22-35. **2.** Ferents R. V., Vasylkovska K. V., Kirchuk R. V. Ohliad konstruktsii pnevmatychnykh vysivnykh aparativ sivalok. *Silskohospodarski mashyny*. 2024. Vyp. 50. S. 104–112. DOI: https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1387. **3.** Vasylkovska K. V., Ferents R. V. Rozrobka konstruktsii pnevmomekhanichnoho vysivnoho aparata tochnoho vysivu. *Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky* : zb. tez dopovidei XXV Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii, 17–19 zhovtnia 2024 r. Kyiv : NUBiP Ukrainy, 2024. S. 90–93. **4.** Lototskyi R. I., Zaiets M. L., Hevko B. M., Dziura V. O., Pavelchuk Yu. F. Mekhanichnyi odnozernovyi vysivnyi aparat : pat. 76866 Ukraina: MPK A01C 7/04. Opubl. 25.01.2013. **5.** Hevko I. B., Chvartatskyi I. I., Drahan A. P., Bilyk S. H. Hvyntovyi vysivnyi aparat tochnoho vysivu nasinnia : pat. 14591 Ukraina: MPK A01C 7/04. Opubl. 15.05.2006. 6. Lehkodukh I., Demydov S., Starodubtseva M. Doslidzhennia efektyvnosti zastosuvannia elektropryvoda vysivnykh aparativ pid chas roboty sivalky universalnoi pnevmatychnoi «VEGA-8» (rezultaty vyprobuvan). *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniky i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*. 2019. № 24 (38). S. 113–123. **7.** Radiak I. B. Morphological Analysis: an Efficient Design Method in Industrial Mechanical. *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects*. 2024. P. 64–67. DOI: https://doi.org/10.36930/conf150.2.1. **8.** Sysolin P. V., Sviren M. O. Vysivni aparaty sivalok (evoliutsiia konstruktsii, rozrakhunky parametriv) : posib. dlia stud. vyshch. navch. zakl. Kirovohradskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2004. 159 s. **9.** Boiko A. I., Sviren M. O., Shmat S. I., Nozhnov M. M. Novi konstruktsii gruntoobrobnykh ta posivnykh mashyn : navch. posib. Kyiv : Tekhnika, 2003. 203 s. **10.** Aniskevych L. V. Upravlinnia systemamy vysokotochnoho dozuvannia tekhnolohichnykh materialiv. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*. 2014. Vyp. 196, ch. 2. S. 264–277.

Bundza O. Z. [1; ORCID ID: 0000-0003-3770-0273],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Pylypaka T. S. [1; ORCID ID: 0009-0000-5582-1859],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Mykhailov A. O. [1; ORCID ID: 0009-0003-8816-9571],
Post-graduate Student

[1]*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

MORPHOLOGICAL SYNTHESIS OF THE PRECISION SEED DRILL METERING UNIT

The article examines the application of morphological synthesis to the design of a precision seed metering unit. It substantiates the need for a systematic search for design solutions that enhance the accuracy of single-seed metering, ensure process stability, and allow the unit to adapt to various crops and operating conditions. A methodological approach to structural synthesis is proposed, involving the functional decomposition of the metering unit, the identification of alternative ways to implement its primary functions, the creation of a morphological matrix, and the generation of a set of potential design variants. Key morphological features considered include the method of seed delivery to the metering zone, the type of metering element, the principle of seed pickup and retention, the method of removing doubles, seed transport and discharge, the drive type, and the method of adjusting operating parameters. Alternative technical solutions were formulated for each functional feature; combining these solutions expands the scope for identifying promising metering unit designs. The theoretical set of possible design combinations was defined, and a sequential reduction of the search space was proposed by verifying the functional and structural compatibility of individual elements. To select an optimal variant, a multi-criteria evaluation of the generated design schemes is envisaged, based on metrics such as sowing accuracy, reliability, design simplicity, energy consumption, versatility, and cost. This approach makes it possible to consider not only the efficiency of the primary technological operation but also the full range of operational and design characteristics of the metering unit. Based on the results of morphological synthesis, the potential of a design configuration featuring a disc metering element, vacuum seed pickup, an adjustable double-seed eliminator, an individual electric drive, and automatic control of operating parameters have been substantiated. The proposed methodological approach systematizes the process of identifying technical solutions and can serve as a basis for the subsequent parametric optimization, mathematical modeling, and experimental investigation of precision planter metering units.

 ISSN 3154-8059

Keywords: morphological synthesis; morphological matrix; precision planter; seed metering device; seed metering; metering disc; vacuum seed metering device.

Отримано / Received: 20.08.2026
Прийнято до друку / Accepted: 17.09.2026
Опубліковано / Published: 18.09.2026

© 2026 [Bundza O. Z., Pylypaka T. S., Mykhailov A. O.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)