

В.З. Гудь, доц., д-р техн. наук, **А.Д. Довбуш**, **А.О. Брикса**, **А.Г. Никитюк**,
В.М. Бучинський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: vic_g@ukr.net

Розроблення гвинтових робочих органів змішувачів

У статті проведено структурно-схемний синтез гвинтових робочих органів змішувальних агрегатів. Шляхом експертного аналізу факторів, що детермінують ефективність гомогенізації, ідентифіковано ключові морфологічні ознаки та встановлено системні взаємозв'язки між ними. На основі результатів системного аналізу розроблено морфологічну матрицю конструктивних параметрів, яка стала теоретичним базисом для побудови структурно-функціональної моделі механічної системи «гвинтовий робочий орган змішувача». Визначено, що функціональні можливості гвинтових робочих органів змішувачів визначаються їх компоновальною схемою. Зокрема одиначне використання реалізує суміщення процесів переміщення та змішування матеріалу, а групове, за умови застосування декількох гвинтових робочих органів змішувачів із протилежним або різнонаправленим вектором руху в межах одного технічного пристрою, забезпечує інтенсифікацію виключно змішувальної функції. В ході реалізації структурно-схемного синтезу було виокремлено такі домінуючі морфологічні ознаки конструктивних елементів гвинтових робочих органів змішувачів: конструкція гвинта; жорсткість гвинта; комбінація гвинта; за кількістю спіралей; крок гвинта; діаметр гвинта; профіль спіралі; тип гвинта; спосіб кріплення елементів. Застосований підхід дозволив згенерувати низку високоефективних конструктивних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу змішування. До них належать робочі органи з додатковими елементами, лопатеві з регульованими та нерегульованими отворами просипання, пружно-еластичні та безвальний. Наукова новизна та практична значущість розробок підтверджена 9 патентами України на корисну модель та 2 заявками на отримання охоронних документів.

синтез, морфологічний аналіз, структурно-схемний, гвинтовий робочий орган змішувача, шнек

Постановка проблеми. Гвинтові робочі органи мають широке застосування в агропромисловому комплексі, будівельній та харчовій галузях як автономні одиниці або компоненти конвеєрних ліній. Їх функціональне призначення охоплює транспортування сипких, в'язких і штучних вантажів, а також інтенсифікацію процесів гомогенізації середовищ. При експлуатації гвинтових робочих органів змішувачів (ГРОЗ) реалізується як поєднання транспортних та технологічних операцій (одночасне переміщення та змішування), так і виключно змішування компонентів. Проектування високоефективних конструкцій ГРОЗ, що відповідають критеріям високої однорідності суміші, значної продуктивності та економічної доцільності, потребує системного підходу. Обґрунтованим є генерування раціональних варіантів конструкцій з їх наступною теоретичною та експериментальною верифікацією для визначення оптимальних параметрів практичного впровадження. Методологічною основою для розробки альтернативних технічних рішень обрано морфологічний аналіз у поєднанні зі структурно-схемним синтезом. Даний підхід дозволяє систематизувати процес генерації значної кількості конструктивних варіацій, що забезпечує повноту пошуку оптимальної конфігурації ГРОЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням проектування та аналізу гвинтових змішувачів присвячено значний масив наукових праць. Дослідження у цій галузі розвиваються за двома основними напрямками: розробка методологій синтезу нових конструктивних рішень [3, 5, 13, 17, 20, 23–30] та комплексне вивчення

теоретичних і прикладних аспектів їх функціонування [3, 5, 13, 17, 20, 23–30]. Зокрема, вагомий внесок у створення методик структурного синтезу та їх практичну реалізацію для проектування гвинтових механізмів зробили І Гевко [1, 4, 6, 8-13], О. Ляшук [10, 11], В. Васильків [1] та інші дослідники. Питання функціональної ефективності, аналітичного розрахунку та оптимізації конструктивних параметрів детально висвітлені у працях Б. Гевка [15], М. Пилипча [15, 16, 18], І. Гевка [16–30], О. Ляшука [24–30], О. Гурика [2, 7], Д. Дмитріва [14, 21, 22] та. Попри значний обсяг існуючих напрацювань, специфіка вимог до змішувальних процесів у різних галузях економіки (аграрний сектор, фармація, будівництво, харчова промисловість) обумовлює необхідність подальшої диференціації технічних рішень. Висока варіативність технологічних умов зумовлює актуальність розробки та дослідження інноваційних конструкцій гвинтових робочих органів змішувачів, адаптованих до конкретних виробничих завдань.

Метою роботи є розроблення конструкцій пружно-еластичних, лопатевих та з додатковими елементами гвинтових робочих органів змішувачів шляхом проведення структурно-схемного синтезу з використанням морфологічного аналізу.

Виклад основного матеріалу. Гвинтові робочі органи змішувачів (ГРОЗ), робочі поверхні яких виготовлені з пружно-еластичних матеріалів або оснащені додатковими конструктивними елементами, знаходять застосування як для транспортування сипких і кускових вантажів, так і для гомогенізації в'язких та сипких середовищ [8, 10, 17, 20]. Функціональні можливості ГРОЗ визначаються їх компоувальною схемою. Зокрема одиничне використання, при інтеграції окремого робочого органу в конструкцію спеціалізованих машин реалізується суміщення процесів переміщення та змішування матеріалу, та групове використання: за умови застосування декількох ГРОЗ із протилежним або різнонаправленим вектором руху в межах одного технічного пристрою забезпечується інтенсифікація виключно змішувальної функції.

Розробка нових конструкцій ГРОЗ базується на застосуванні вдосконаленого методу структурно-схемного синтезу з використанням апарату морфологічного аналізу. Запропонований підхід передбачає залучення експертного оцінювання та ієрархічну диференціацію ознак конструктивних елементів за ступенем їхнього впливу на технологічний процес [6, 8–12]. Для інтенсифікації процесу генерації альтернатив та оптимізації їхньої чисельності було застосовано відповідний метод синтезу [13].

На основі експертного аналізу факторів, що визначають ефективність змішування, ідентифіковано ключові морфологічні ознаки та встановлено детерміновані взаємозв'язки між ними. Результатом системного аналізу стала побудова морфологічної матриці конструктивних параметрів ГРОЗ (табл. 1), що послужила базисом для розробки структурно-функціональної моделі механічної системи «Гвинтовий робочий орган змішувача» (рис. 1). В ході реалізації структурно-схемного синтезу було виокремлено такі домінуючі морфологічні ознаки конструктивних елементів гвинтових робочих органів змішувачів: конструкція гвинта; жорсткість гвинта; комбінація гвинта; за кількістю спіралей; крок гвинта; діаметр гвинта; профіль спіралі; тип гвинта; спосіб кріплення елементів.

На рис. 2 зображені конструкції синтезованих пружно-еластичних ГРОЗ, які запатентовано [31-34]. Визначальними ознаками конструкцій, зображених на рис. 2.а та рис. 2.б, які їх відрізняють з цілого масиву ГРОЗ, є ознаки 7.9 «пружно-еластична» - профіль спіралі та 8.11 «із пружно-еластичною щіткою розміщеною на периферії спіралі» - тип гвинта. Також додатковою ознакою для конструкції зображеної на рис. 2.а є ознака 8.2 «з розташованими в круглих отворах, що відтворюють гвинтову лінію, пружно-еластичних елементів», а для конструкції зображеної на рис. 2.б є ознака 8.9 «шнекова спіраль з розташованими у подвійній основі пружно-еластичних елементів».

Таблиця 1 - Ознаки конструктивних елементів ГРОЗ

1. Конструкція гвинта	2. Жорсткість гвинта	3. Комбінація гвинта	4. За кількістю спіралей	5. Крок гвинта	6. Діаметр гвинта	7. Профіль спіралі
1.1. Суцільна 1.2. Секційна 1.3. З валом 1.4. Безвальна 1.5. З планками розташованими у спіралі на певній відстані від центра гвинта 1.6. Циліндрична 1.7. Конічна 1.8. Лівостороння 1.9. Правостороння	2.1. Жорсткий 2.2. Гнучкий 2.3. Комбінований	3.1. Однотиповий 3.2. Багатотиповий	4.1. Однозахідний 4.2. Двозахідний 4.3. Багатозахідний	5.1. З одним кроком 5.2. З різним кроком	6.1. Одного діаметру 6.2. Різного діаметру	7.1. Суцільна 7.2. Стрічкова 7.3. Лопатева без регулювання величини просипання 7.4. Лопатева з регулюванням величини просипання 7.5. Гофрована 7.6. З розрізами, отворами чи вирізами 7.7. Вузькострічкова 7.8. Широкострічкова 7.9. Пружно-еластична 7.10. Із загинами на зовнішній кромці спіралі 7.11. Пружинна (кругла) 7.12. Зі змінними додатковими елементами 7.13. Нахилена 7.14. З додатковими елементами
8. Тип гвинта						9. Спосіб кріплення елементів
8.1. З гвинтоподібним прорізом основи і закріпленням у ньому пружно-еластичних елементів 8.2. З розташованими в круглих отворах, що відтворюють гвинтову лінію, пружно-еластичних елементів 8.3. З розташованими в еліпсоподібних отворах, що відтворюють гвинтову лінію, пружно-еластичних елементів 8.4. З полімерним покриттям спіралі; 8.5. З полімерним покриттям спіралі та основи шнека 8.6. З розташованими на спіралі еластичних гвинтових пелюстків 8.7. З кріпленням пружно-еластичних елементів в торцевих отворах спіралі 8.8. Із розташованими на швелероподібній основі спіралі пружно-еластичних елементів 8.9. Шнекова спіраль з розташованими у подвійній основі пружно-еластичних елементів 8.10. Із пружно-еластичними накладками встановленими на периферії спіралі 8.11. Із пружно-еластичною щіткою розміщеною на периферії спіралі 8.12. Із суцільним камероподібним пружно-еластичним елементом розміщеним на периферії спіралі 8.13. З лопатями жорстко закріпленими на вісях, що розташовані на торцевій поверхні спіралі 8.14. З лопатями встановленими з можливістю вільного обертання на вісях, що розташовані на торцевій поверхні спіралі						9.1. Додатковою внутрішньою основою 9.2. Гвинтами 9.3. Болтами 9.4. Заклепками 9.5. Клеєнням 9.6. Пресуванням 9.7. Паянням 9.10. Зварюванням

Джерело: розроблено авторами

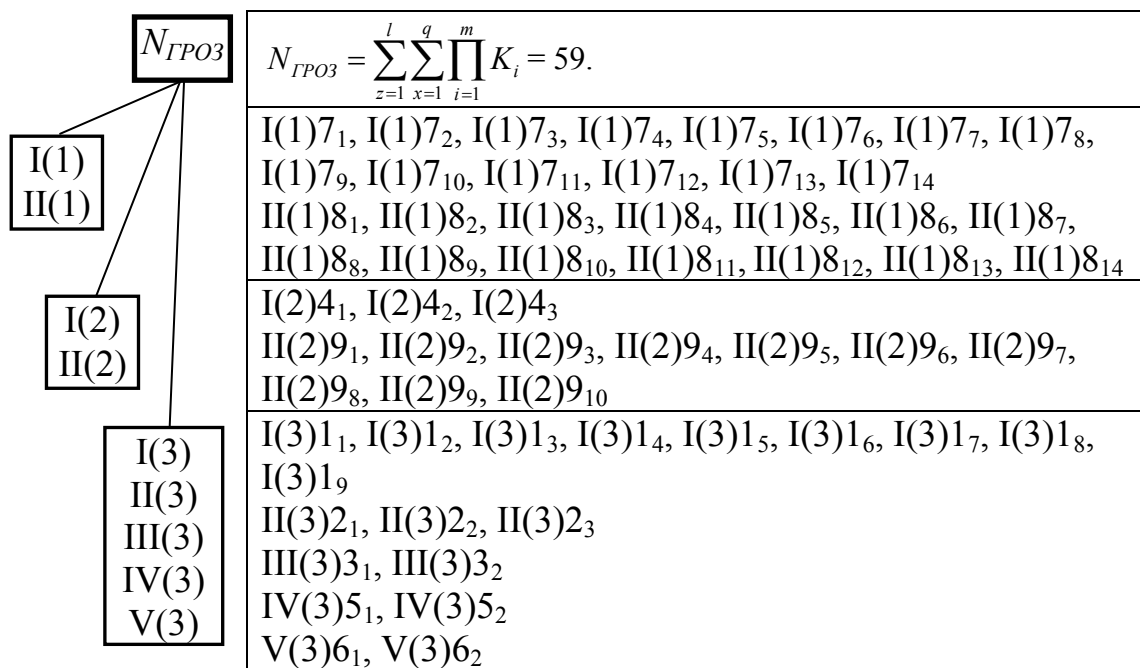


Рисунок 1 - Модель механічної системи «Гвинтовий робочий орган змішувача»:

I - V – підгрупи відповідного ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні рівні

Джерело: розроблено авторами

Для конструкцій, зображених на рис. 2.в та рис. 2.г, визначальними ознаками є ознаки 7.1 «суцільна», 7.14 «з додатковими елементами», 7.9 «пружно-еластична», 7.12 «зі змінними додатковими елементами», а також ознака 8.12 «із суцільним периферійним камероподібним пружно-еластичним елементом на спіралі». Різницею у них є ознака 9 - спосіб кріплення елементів, де для конструкції зображеної на рис. 2.в використовується спосіб кріплення елементів 9.4 «заклепками», а для конструкції зображеної на рис. 2.г використовується спосіб кріплення елементів 9.5 «клеєнням», що дозволяє в разі потреби заміни відповідного пружно-еластичного елемента на спіралі реалізовувати його заміну шляхом відкріплення з подальшим прикріпленням липучки до липучки.

На рис. 3 зображені синтезовані конструкції лопатевих ГРОЗ з регульованими та нерегульованими отворами просипання, які запатентовано [35-36], а на конструкцію з рис. 3.в подано заявку на отримання патенту України. Визначальною ознакою для конструкції, зображеної на рис. 3.а, є ознака профілю спіралі 7.3 «лопатева без регулювання величини просипання». Для конструкцій, зображених на рис. 3.б і рис. 3.в, є ознаки профілю спіралі 7.3 «лопатева без регулювання величини просипання» та 7.4. «лопатева з регулюванням величини просипання». Також для конструкції зображеної на рис. 3.б ознака за кількістю спіралей 4.2 «двозахідний», а для конструкції зображеної на рис. 3.в ознака 4.4 «за кількістю спіралей».

До переваг щіткоподібного пружно-еластичного ГРОЗ з рис. 2.а відноситься інтефікація міжкомпонентної дифузії у перемішувальному процесі при потраплянні сипких компонентів у пустотний простір виконаний в елементах меншої висоти, а для щіткоподібного пружно-еластичного ГРОЗ з рис. 2.б додатковою перевагою є надійність кріплення еластичних елементів. Що стосується конструкцій синтезованих лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів (рис. 3), то їхніми перевагами є створення умов підбору потрібної величини зазору, для інтенсифікації міжкомпонентної дифузії матеріалів, між лопатями спіралей 3 та 6.

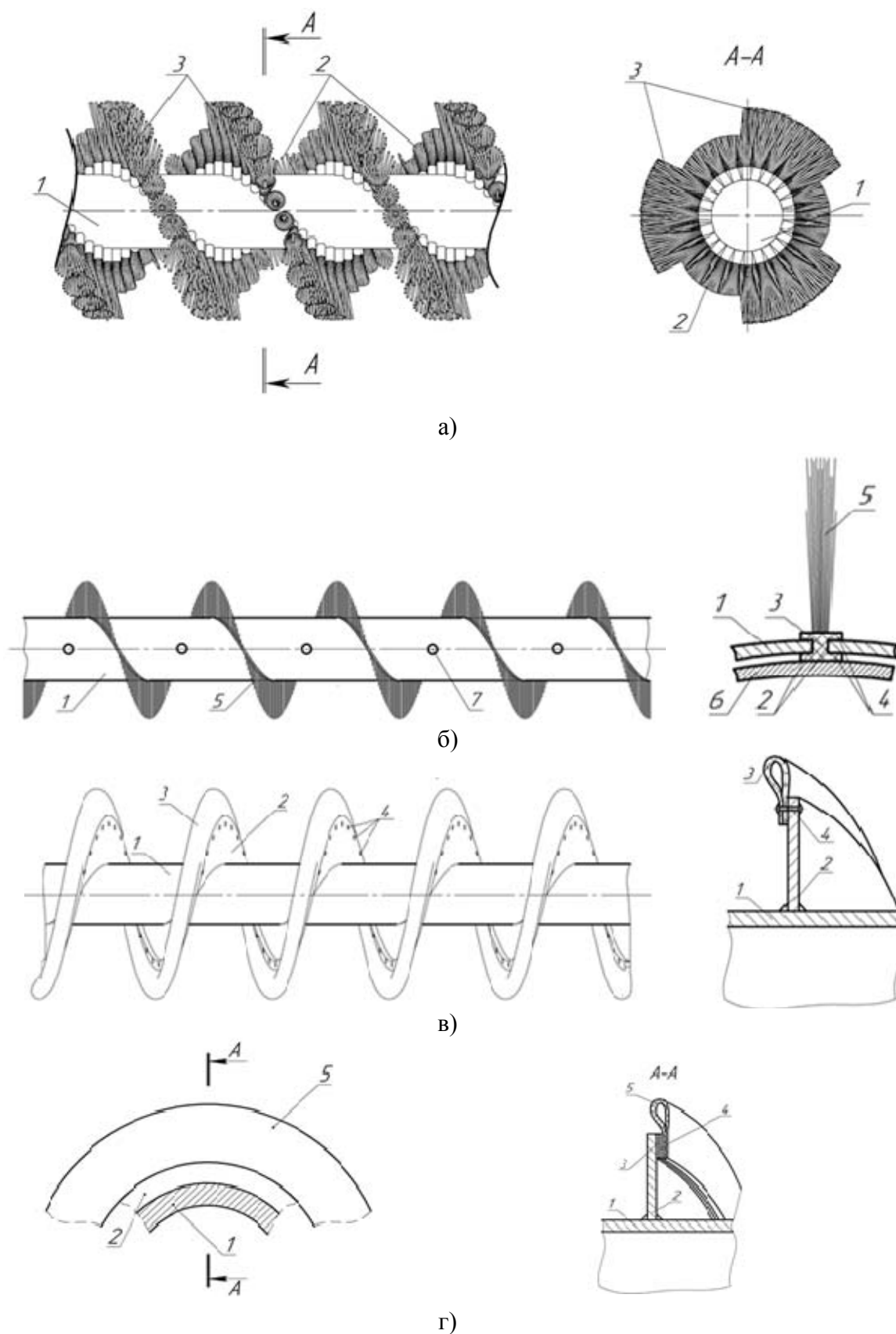


Рисунок 2 – Конструкційні рішення синтезованих пружно-еластичних гвинтових робочих органів змішувачів:

а) пат. України 157049; б) пат. України 150968; в) пат. України 150763; г) пат. України 157149

Джерело: розроблено авторами

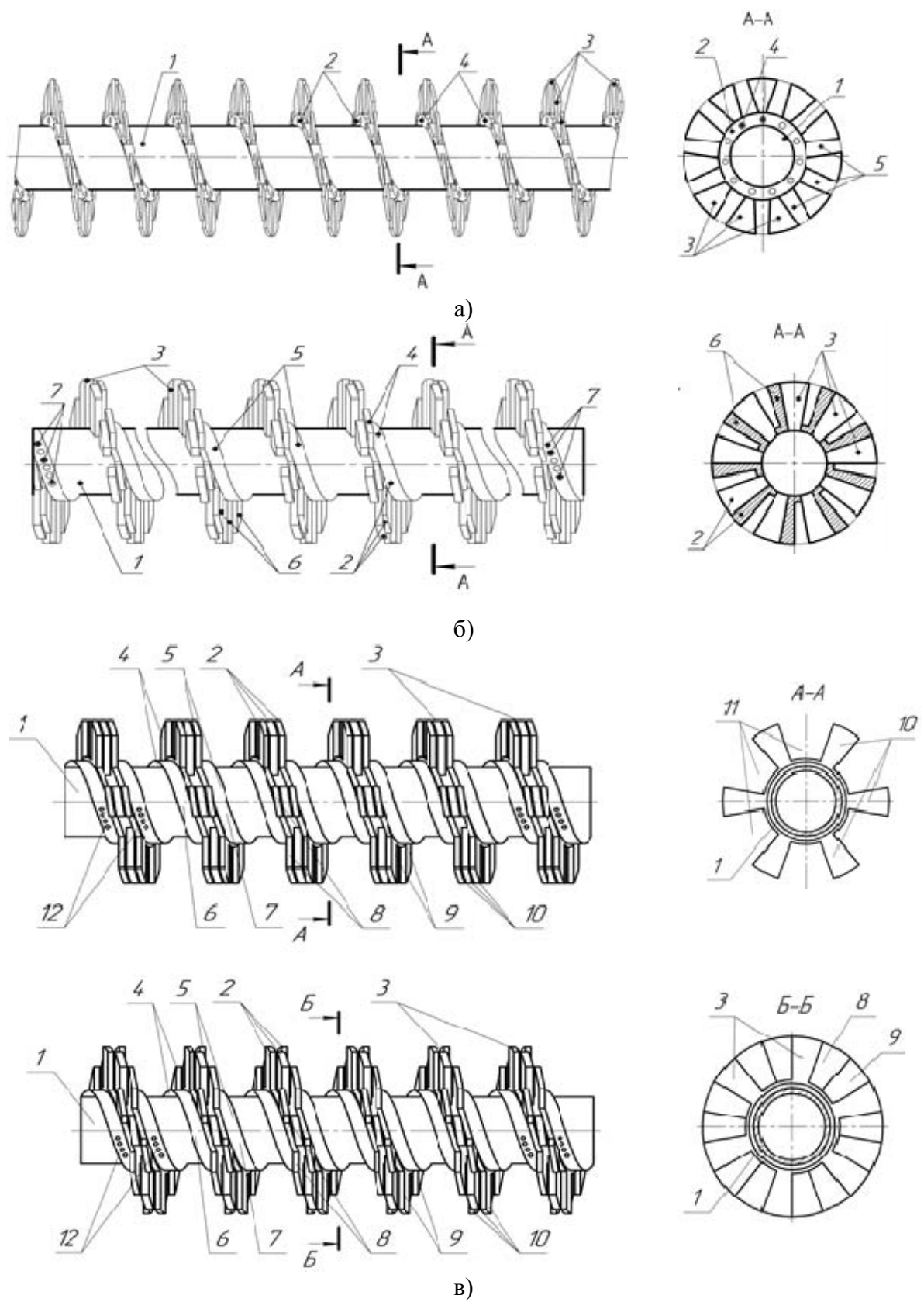


Рисунок 3 - Конструкції синтезованих лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів:
 а) пат. України 153687; б) пат. України 153774; в) заявка на пат. України u202506123
 Джерело: розроблено авторами

На рис. 4 зображені конструкції синтезованих гвинтових робочих органів змішувачів з додатковими елементами, які запатентовано [37-38], а на конструкцію з рис. 4.в подано заявку на отримання патенту України.

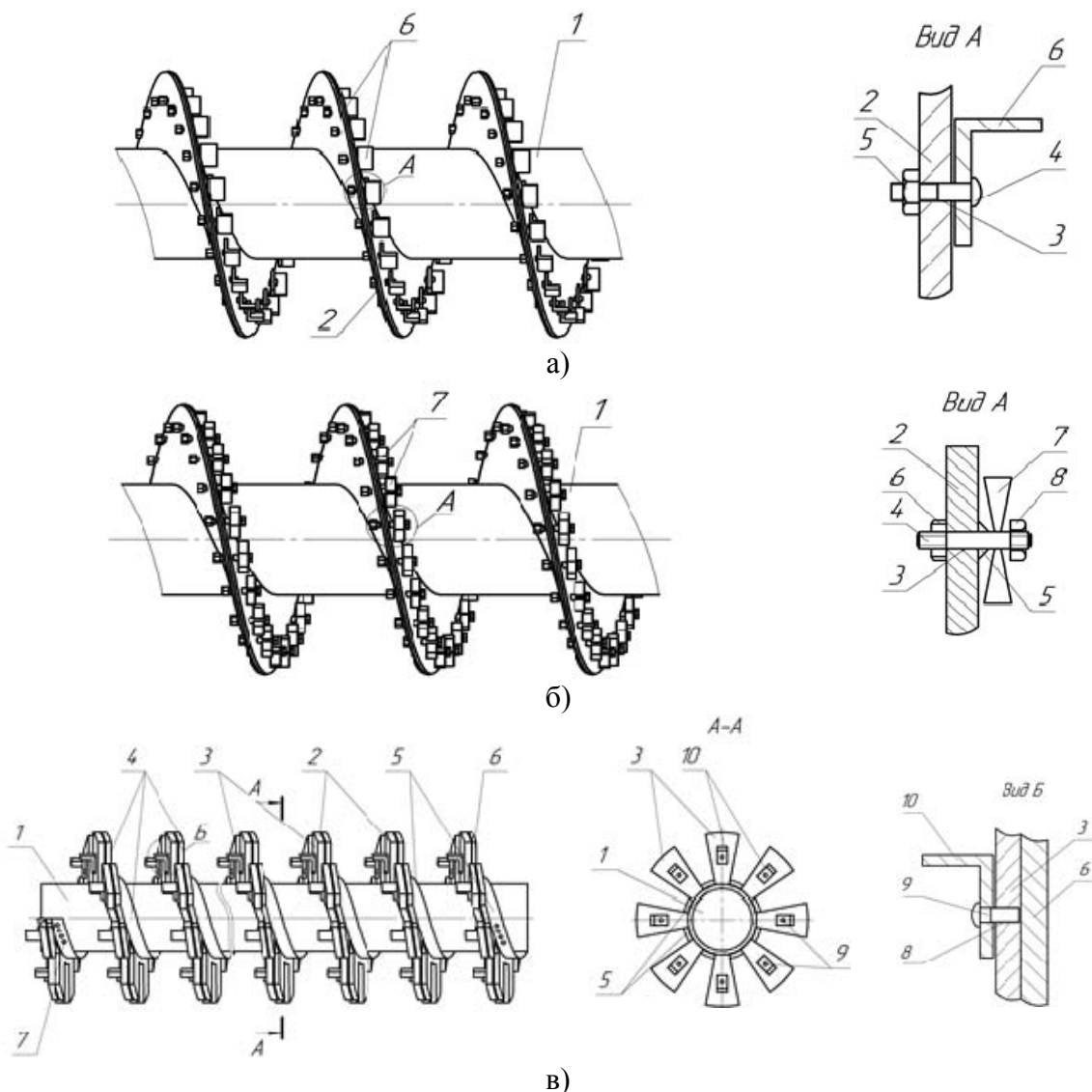


Рисунок 4 - Конструкції синтезованих гвинтових робочих органів змішувачів з додатковими елементами:

а) пат. України 161908; б) пат. України 162024; в) заявка на пат. України u202506122
Джерело: розроблено авторами

Визначальною ознакою для конструкцій, зображених на рис. 4.а та рис. 4.в, є ознака типу гвинта 8.13 «з лопатями жорстко закріпленими на вісях, що розташовані на торцевій поверхні спіралі», а для конструкції зображеної на рис. 4.б ознака 8.14 «з лопатями встановленими з можливістю вільного обертання на вісях, що розташовані на торцевій поверхні спіралі».

До переваг розроблених ГРОЗ з додатковими елементами (рис. 4) відноситься можливість забезпечення значної інтенсифікації процесу змішування матеріалів, а для конструкцій зображених на рис. 4.а та рис. 4.в передбачено можливість варіативності конфігурації, типорозмірів та просторової орієнтації робочих елементів. Це дозволяє інтенсифікувати процес гомогенізації сипких компонентів шляхом оптимізації конструктивно-технологічних параметрів системи.

На рис. 5 [39] представлено синтезовану конструкцію безвального ГРОЗ, визначальною ознакою якого є ознака конструкції гвинта 1.5 «з планками розташованими у спіралі на певній відстані від центра гвинта».

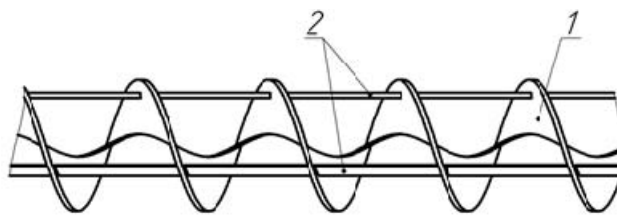


Рисунок 5 - Синтезована конструкція безвального гвинтового робочого органу змішувача (пат. України 158598)

Джерело: розроблено авторами

Загалом синтезовані конструкції гвинтових робочих органів змішувачів дають можливість забезпечити суттєву інтенсифікацію процесу змішування матеріалів. Це створює підґрунтя для розширення діапазону досліджень гвинтових змішувальних систем, дозволяючи верифікувати їхні конструктивно-технологічні параметри та здійснити обґрунтований вибір оптимальних конфігурацій обладнання.

Висновок. Проведено структурно-схемний синтез гвинтових робочих органів змішувачів. На основі експертного аналізу факторів, що визначають ефективність змішування, ідентифіковано ключові морфологічні ознаки та встановлено детерміновані взаємозв'язки між ними. Результатом системного аналізу стала побудова морфологічної матриці конструктивних параметрів гвинтових робочих органів змішувачів, що послужила базисом для розробки структурно-функціональної моделі механічної системи «Гвинтовий робочий орган змішувача». В ході реалізації структурно-схемного синтезу було виокремлено такі домінуючі морфологічні ознаки конструктивних елементів гвинтових робочих органів змішувачів: конструкція гвинта; жорсткість гвинта; комбінація гвинта; за кількістю спіралей; крок гвинта; діаметр гвинта; профіль спіралі; тип гвинта; спосіб кріплення елементів.

Це дозволило отримати ефективні варіанти конструкцій гвинтових робочих органів змішувачів які дають можливість забезпечити суттєву інтенсифікацію процесу змішування матеріалів. Зокрема конструкції гвинтових робочих органів змішувачів з додатковими елементами, лопатеві з регульованими та нерегульованими отворами просипання, пружно-еластичні та безвальний. На синтезовані конструкції гвинтових робочих органів змішувачів отримано 9 патентів України, а також подано і зареєстровано 2 заявки на одержання патентів.

Список літератури

1. Васильків В.В., Гевко І.Б., Бабарика С.Ф. Синтез нових конструкцій гвинтових робочих органів машин внесення твердих органічних добрив. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. Дніпропетровськ, 2009, №2, с. 170-173.
2. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Визначення динамічних навантажень у гвинтовому змішувачі. Вісник НУ «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. 2002, № 442, с. 90–93.
3. Гевко І.Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. Вісник ТНТУ, Тернопіль, 2011, Том 16, № 1, с. 69-77.
4. Гевко І., Любачівський Р., Дячун А. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. Львів, 2012, № 16, с. 237 – 246.
5. Гевко І.Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук, спец. 05.20.01 «Механізація сільськогосподарського виробництва». Луцьк, 1997. 18 с.
6. Гевко І.Б. Структурний синтез імпульсних запобіжних муфт і шнеків методом морфологічного аналізу. Вісник ТНТУ, Тернопіль, 2012, № 3(67), с. 121-134.

7. Гевко І.Б., Вітровий А.О., Гурик О.Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей, Випуск 8. Луцьк, 2001, с. 72-82.
8. Гевко І.Б., Гудь В.З. Синтез гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни тракторії перевантаження матеріалів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019, Вип. 2(33), с. 25-33.
9. Гевко І.Б., Дячун А.Є., Любачівський Р.О. Структурний синтез гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями методом морфологічного аналізу. Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Випуск 128/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь, 2012, с. 37 – 41.
10. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Клендій В.М. Синтез гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. Львів, 2014, № 18, с. 112 – 121.
11. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Пік А.І., Марчук Н.М., Маруніч О.П. Синтез гвинтових транспортерів-змішувачів. Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей, Вип. 45. Луцьк, 2020. С. 35-44.
12. Гевко Ів., Довбуш Т., Цьонь О., Довбуш А., Станько А. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх досліджень. Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей, Випуск 47. Луцьк, 2021, с. 63-72.
13. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
14. Дмитрів Д.В., Гевко І.Б., Левенець В.Б. Надійність роботи шнеково-гвинтових змішувачів. Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей, Випуск 16. Луцьк, 2007, с. 62-74.
15. Механізми з гвинтовими пристроями. Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін. Львів: Світ, 1993. 208 с.
16. Пилипець М. І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з пружним валом для гнучких гвинтових конвеєрів. Вісник НУ «Львівська політехніка»: «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні». 2000, № 412, с. 84–91.
17. Рогатинський Р.М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
18. Пилипець М. І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з секційними елементами для гнучких гвинтових конвеєрів. Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей, Вип. 5. Луцьк, 1999, с. 207–217.
19. Рогатинський Р.О., Гевко І.Б., Рогатинська Л.Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. Вісник ТНТУ. 2013, № 1 (69), с. 116–125.
20. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.
21. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Випуск 6. Луцьк, 2000. С. 129-135.
22. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В., Гудь В.З., Дмитрів О.Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Випуск 45. Луцьк, 2020. С. 84-93.
23. Hevko I.B., Dyachun A.Ye., Hud V.Z., Rohatynska L.R., Klendiy V.M. Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2015, Vol. 45, № 1, с. 77-86.
24. Hevko I.B., Lyashuk O.L., Leshchuk R.Y., Rogatynska L.R., Melnychuk A.L. Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2016, Vol. 48, № 1, с. 35-42.
25. Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyor with Hinge-Pan Operating Device. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskyi, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Volodymyr Kobelnyk. Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169-182.
26. Research in resonant oscillations of the telescopic screw – granular media system caused by external periodic forces. INMATEH - Agricultural Engineering. V. Hud, R. Rogatynskyy, Iv. Hevko, O. Lyashuk, A. Pic, O. Huryk. Polytechnic University of Bucharest, 2020, Vol. 60, № 1, P. 29-36.
27. Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. O. L., Lyashuk; I. B., Hevko; V. Z., Hud; I. G., Tkachenko; O. V., Hevko; M. O., Sokol; O. P., Tson; V. R., Kobelnyk; D. Z., Shmatko; A. I., Stanko. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2022, Vol. 68, № 3, P. 499-510.
28. Research of resonance vibrations of the system “Telescopic screw is a bulk medium” caused by torsional vibrations. V. Hud, I. Hevko, O. Lyashuk, O. Hevko, M. Sokil, I. Shust. Karaganda, 2020, № 2 (98), Ст. 119-126.

29. Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. Karaganda State University Publishing house. I. Nevko, O. Lyashuk, M. Sokil, L. Slobodian, V. Hud, Yu. Vovk. Karaganda, 2019, № 2 (94), Ст. 73-81.
30. Hud V., Lyashuk O., Nevko I., Ungureanu N., Vlăduț N.-V., Stashkiv M., Nevko O., Pik A. Enhancement of Agricultural Materials Separation Efficiency Using a Multi-Purpose Screw Conveyor-Separator. *Agriculture*, 2023. Vol. 13, № 4. P. 870. (<https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>).
31. Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею : пат. 157049 Україна : МПК В65G 33/16 / І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, Б. Р. Гевко, Ю. С. Никеруй, Р. В. Хорошун, А. О. Брикса, С. О. Коваль, О. Ю. Стібайло ; заявник Україна. – № u202400169 ; заявл. 11.01.2024 ; опубл. 05.09.2024, Бюл. № 36.
32. Шнек з еластичною щіткоподібною поверхнею : пат. 150968 Україна : МПК В65G 33/26 (2006.01) / Ів. Б. Гевко, О. П. Цьонь, А. Є. Дячун, Т. А. Довбуш, А. І. Станько, І. П. Сукенік, А. Д. Довбуш ; заявник Україна. – № u202106202 ; заявл. 04.11.2021 ; опубл. 18.05.2022, Бюл. № 20.
33. Шнек з еластичним камероподібним елементом : пат. 150763 Україна : МПК В65G 33/26 (2006.01), В65G 33/16 (2006.01) / Ів. Б. Гевко, О. П. Цьонь, Т. А. Довбуш, А. І. Станько, А. Д. Довбуш, Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь ; заявник Україна. – № u202106203 ; заявл. 04.11.2021 ; опубл. 13.04.2022, Бюл. № 15.
34. Шнек із змінним еластичним елементом : пат. 157149 Україна : МПК В65G 33/16 / І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, Б. Р. Гевко, А. Д. Довбуш, Р. В. Хорошун, А. О. Брикса, С. О. Коваль, О. Ю. Стібайло ; заявник Україна. – № u202400165 ; заявл. 11.01.2024 ; опубл. 05.09.2024, Бюл. № 36.
35. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів : пат. 153687 Україна : МПК В65G 33/16, В65G 33/26 / Ів. Б. Гевко, Р. Я. Лещук, О. Я. Гурик, Т. А. Довбуш, А. Д. Довбуш, С. Ю. Мариненко, В. С. Сенчишин, С. О. Коваль, О. Ю. Стібайло, В. С. Головка ; заявник Україна. – № u202301003 ; заявл. 13.01.2023 ; опубл. 10.08.2023, Бюл. № 32.
36. Гвинтовий робочий орган змішувача : пат. 153774 Україна : МПК В65G 33/16 / Ів. Б. Гевко, Р. Я. Лещук, І. Б. Окіпний, Т. А. Довбуш, А. Д. Довбуш, О. Я. Гурик, Д. Л. Радик, С. Ю. Мариненко, С. О. Коваль, О. Ю. Стібайло ; заявник Україна. – № u202301002 ; заявл. 13.01.2023 ; опубл. 24.08.2023, Бюл. № 34.
37. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів : пат. 161908 Україна : МПК В21D 11/06 / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, А. Є. Дячун, А. О. Брикса, Н. А. Антончак, А. Г. Никитюк, В. В. Мартинюк ; заявник Україна. – № u202503401 ; заявл. 14.07.2025 ; опубл. 14.01.2026, Бюл. № 2.
38. Шнек для змішування з додатковими елементами : пат. 162024 Україна : МПК В21D 11/06 / І. Б. Гевко, Р. М. Рогатинський, Т. А. Довбуш, А. Є. Дячун, А. О. Брикса, Н. А. Антончак, А. Г. Никитюк, В. В. Мартинюк ; заявник Україна. – № u202503400 ; заявл. 14.07.2025 ; опубл. 04.02.2026, Бюл. № 5.
39. Гвинтовий робочий орган для змішування матеріалів : пат. 158598 Україна : МПК В65G 33/26 / І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, М. В. Бабій ; заявник Україна. – № u202403629 ; заявл. 15.07.2024 ; опубл. 26.02.2025, Бюл. № 9/2025.

References

1. Vasylyk V.V., Nevko I.B., Babaryka S.F. Synthesis of new designs of screw working bodies of machines for applying solid organic fertilizers. *Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University. Dnipropetrovsk*, 2009, No. 2, p. 170-173.
2. Nevko I.B., Guryk O.Ya. Determination of dynamic loads in a screw mixer. *Bulletin of Lviv Polytechnic University: Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering*. 2002, No. 442, p. 90–93.
3. Nevko I.B. Modeling of the nature of the load on the screw working bodies. *Bulletin of TNTU, Ternopil*, 2011, Volume 16, No. 1, p. 69-77.
4. Nevko I., Lyubachivskiy R., Dyachun A. Synthesis of mixers with screw working bodies. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research*. Lviv, 2012, No. 16, p. 237-246.
5. Nevko I.B. Development and research of low-frequency devices for performing technological processes with flexible screw conveyors: autoref. thesis for obtaining sciences. candidate degree technical sciences, special 05.20.01 "Mechanization of agricultural production". Lutsk, 1997. 18 p.
6. Nevko I.B. Structural synthesis of impulse safety couplings and screws by the method of morphological analysis. *Bulletin of TNTU, Ternopil*, 2012, No. 3(67), p. 121-134.
7. Nevko I.B., Vitrovyi A.O., Guryk O.Ya. A dynamic model of the process of transporting loose materials by a screw conveyor. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, Issue 8. Lutsk, 2001, p. 72-82.
8. Nevko I.B., Gud V.Z. Synthesis of screw conveyors with the possibilities of technological transformation and mobile change of the trajectory of material overload. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*. 2019, Issue 2(33), p. 25-33.
9. Nevko I.B., Dyachun A.E., Lyubachivskiy R.O. Structural synthesis of screw conveyors with advanced technological capabilities by the method of morphological analysis. *Bulletin of SevNTU: coll. of science Ave. Issue 128/2012. Series: Mechanical engineering and transport*. Sevastopol, 2012, p. 37-41.

10. Hevko I.B., Lyashuk O.L., Klendiy V.M. Synthesis of screw conveyors with flexible working bodies. Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research. Lviv, 2014, No. 18, p. 112 - 121.
11. Hevko I.B., Lyashuk O.L., Peak A.I., Marchuk N.M., Marunych O.P. Synthesis of screw conveyors-mixers. Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 45. Lutsk, 2020, p. 35-44.
12. Hevko I., Dovbush T., Tsyon O., Dovbush A., Stanko A. Synthesis of helical working bodies with elastic surfaces and the results of their research. Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 47. Lutsk, 2021, p. 63-72.
13. Hevko I. B., Leshchuk R. Ya., Gud V. Z., Dmytriv O. R., Dubynyak T. S., Navrotska T. D., Kruglik O. A. Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental research. Ternopil: FOP Palyanitsa V. A., 2019. 207 p.
14. Dmytriv D.V., Hevko I.B., Levenets V.B. Reliability of screw-screw mixers. Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 16. Lutsk, 2007, p. 62-74.
15. Mechanisms with screw devices. B.M. Hevko, M.G. Danylchenko, R.M. Rohatynskiy et al. Lviv: Svit, 1993. 208 p.
16. Pylypets M.I., Hevko I.B., Vitrovyi A.O. Optimization of the working body with an elastic shaft for flexible screw conveyors. Bulletin of Lviv Polytechnic University: "Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering". 2000, No. 412, p. 84–91.
17. Rohatynskiy R.M., Hevko I.B., Lyashuk O.L., Gud V.Z., Dyachun A.E., Melnychuk A.L., Slobodian L.M. Prospective screw conveyors: designs, calculation, research. Ternopil: FOP Palyanytsia V. A., 2019. 212 p.
18. Pylypets M.I., Hevko I.B., Vitrovyi A.O. Optimization of the working body with sectional elements for flexible screw conveyors. Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 5. Lutsk, 1999, p. 207–217.
19. Rohatynskiy R.O., Hevko I.B., Rohatynska L.R. Optimization of parameters of screw transport and technological systems. Bulletin of TNTU. 2013, No. 1 (69), p. 116–125.
20. Rohatynskiy R.M., Hevko I.B., Dyachun A.E. Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms: monograph. Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU, 2014. 280 p.
21. Rohatynskiy R.M., Hevko I.B., Dmytriv D.V. Modeling the operation of a small-sized blade-screw mixer. Agricultural machinery. Collection of scientific articles. Issue 6. Lutsk, 2000. P. 129-135.
22. Rohatynskiy R.M., Hevko I.B., Dmytriv D.V., Gud V.Z., Dmytriv O.R. Modeling of mixing of components by screw conveyors-mixers. Agricultural machinery. Collection of scientific articles. Issue 45. Lutsk, 2020. P. 84-93.
23. Hevko I.B., Dyachun A.Ye., Hud V.Z., Rohatynska L.R., Klendiy V.M. Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2015, Vol. 45, № 1, c. 77-86.
24. Hevko I.B., Lyashuk O.L., Leshchuk R.Y., Rogatynska L.R., Melnychuk A.L. Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2016, Vol. 48, № 1, c. 35-42.
25. Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyor with Hinge-Pan Operating Device. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskiy, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Volodymyr Kobelnyk. Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169-182.
26. Research in resonant oscillations of the telescopic screw – granular media system caused by external periodic forces. INMATEH - Agricultural Engineering. V. Hud, R. Rogatynskyy, I. Hevko, O. Lyashuk, A. Pic, O. Huryk. Polytechnic University of Bucharest, 2020, Vol. 60, № 1, P. 29-36.
27. Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. O. L., Lyashuk; I. B., Hevko; V. Z., Hud; I. G., Tkachenko; O. V., Hevko; M. O., Sokol; O. P., Tson; V. R., Kobelnyk; D. Z., Shmatko; A. I., Stanko. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2022, Vol. 68, № 3, P. 499-510.
28. Research of resonance vibrations of the system "Telescopic screw is a bulk medium" caused by torsional vibrations. V. Hud, I. Hevko, O. Lyashuk, O. Hevko, M. Sokil, I. Shust. Karaganda, 2020, № 2 (98), Ст. 119-126.
29. Resonant oscillation of vertical working part of conveyor-loader. Karaganda State University Publishing house. I. Hevko, O. Lyashuk, M. Sokil, L. Slobodian, V. Hud, Yu. Vovk. Karaganda, 2019, № 2 (94), Ст. 73-81.
30. Hud V., Lyashuk O., Hevko I., Ungureanu N., Vlăduț N.-V., Stashkiv M., Hevko O., Pik A. Enhancement of Agricultural Materials Separation Efficiency Using a Multi-Purpose Screw Conveyor-Separator. Agriculture, 2023. Vol. 13, № 4. P. 870. (<https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>).
31. Screw for mixing with elastic brush-like surface : Patent 157049 Ukraine : IPC B65G 33/16 / I. B. Hevko, T. A. Dovbush, B. R. Hevko, Yu. S. Nykerui, R. V. Khoroshun, A. O. Bryksa, S. O. Koval, O. Yu. Stibailo ; applicant Ukraine. – No. u202400169 ; appl. 11.01.2024 ; publ. 05.09.2024, Bull. No. 36.
32. Screw with elastic brush-like surface : Patent 150968 Ukraine : IPC B65G 33/26 (2006.01) / Iv. B. Hevko, O. P. Tson, A. Ye. Dyachun, T. A. Dovbush, A. I. Stanko, I. P. Sukenik, A. D. Dovbush ; applicant Ukraine. – No. u202106202 ; appl. 04.11.2021 ; publ. 18.05.2022, Bull. No. 20.
33. Screw with elastic chamber-type element : Patent 150763 Ukraine : IPC B65G 33/26 (2006.01), B65G 33/16 (2006.01) / Iv. B. Hevko, O. P. Tson, T. A. Dovbush, A. I. Stanko, A. D. Dovbush, N. I. Khomyk, H. B. Tson ; applicant Ukraine. – No. u202106203 ; appl. 04.11.2021 ; publ. 13.04.2022, Bull. No. 15.

34. Screw with replaceable elastic element : Patent 157149 Ukraine : IPC B65G 33/16 / I. B. Hevko, T. A. Dovbush, B. R. Hevko, A. D. Dovbush, R. V. Khoroshun, A. O. Bryksa, S. O. Koval, O. Yu. Stibailo ; applicant Ukraine. – No. u202400165 ; appl. 11.01.2024 ; publ. 05.09.2024, Bull. No. 36.
35. Screw for mixing with mechanical fastening of elements : Patent 153687 Ukraine : IPC B65G 33/16, B65G 33/26 / Iv. B. Hevko, R. Ya. Leshchuk, O. Ya. Huryk, T. A. Dovbush, A. D. Dovbush, S. Yu. Marynenko, V. S. Senchyshyn, S. O. Koval, O. Yu. Stibailo, V. S. Holovko ; applicant Ukraine. – No. u202301003 ; appl. 13.01.2023 ; publ. 10.08.2023, Bull. No. 32.
36. Screw working body of mixer : Patent 153774 Ukraine : IPC B65G 33/16 / Iv. B. Hevko, R. Ya. Leshchuk, I. B. Okipnyi, T. A. Dovbush, A. D. Dovbush, O. Ya. Huryk, D. L. Radyk, S. Yu. Marynenko, S. O. Koval, O. Yu. Stibailo ; applicant Ukraine. – No. u202301002 ; appl. 13.01.2023 ; publ. 24.08.2023, Bull. No. 34.
37. Screw for mixing with mechanical fastening of elements : Patent 161908 Ukraine : IPC B21D 11/06 / R. M. Rohatynskiy, I. B. Hevko, T. A. Dovbush, A. Ye. Dyachun, A. O. Bryksa, N. A. Antonchak, A. H. Nykytiuk, V. V. Martyniuk ; applicant Ukraine. – No. u202503401 ; appl. 14.07.2025 ; publ. 14.01.2026, Bull. No. 2.
38. Screw for mixing with additional elements : Patent 162024 Ukraine : IPC B21D 11/06 / I. B. Hevko, R. M. Rohatynskiy, T. A. Dovbush, A. Ye. Dyachun, A. O. Bryksa, N. A. Antonchak, A. H. Nykytiuk, V. V. Martyniuk ; applicant Ukraine. – No. u202503400 ; appl. 14.07.2025 ; publ. 04.02.2026, Bull. No. 5.
39. Screw working body for mixing materials : Patent 158598 Ukraine : IPC B65G 33/26 / I. B. Hevko, T. A. Dovbush, M. V. Babii ; applicant Ukraine. – No. u202403629 ; appl. 15.07.2024 ; publ. 26.02.2025, Bull. No. 9/2025.

Victor Gud, Assoc. Prof., Dr. Tech. Sci., **Anatoliy Dovbush**, **Andriy Bryksa**, **Andriy Nikityuk**, **Volodymyr Buchinsky**

Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Development of Screw Mixer Working Elements

Screw working bodies are used in the agro-industrial complex, construction and food industries as autonomous units or components of conveyor lines. Their functional purpose includes the transportation of loose, viscous and piece goods, as well as the intensification of processes of homogenization of media. When operating screw working bodies of mixers (SMW), both a combination of transport and technological operations (simultaneous movement and mixing) and exclusively mixing of components are implemented. Designing highly efficient SWM designs that meet the criteria of high mixture homogeneity, significant productivity and economic feasibility requires a systematic approach. It is justified to generate rational design options with their subsequent theoretical and experimental verification to determine the optimal parameters of practical implementation. Structural and schematic synthesis was chosen as the methodological basis for the development of alternative technical solutions. This approach allows you to systematize the process of generating a significant number of design variations, which ensures the completeness of the search for the optimal configuration of the SWM.

A significant body of scientific work is devoted to the design and analysis of screw mixers. Research in this field is developing in two main directions: the development of methodologies for the synthesis of new design solutions and a comprehensive study of the theoretical and applied aspects of their functioning.

The aim of the work is to develop designs of elastic-elastic, bladed and screw mixer working bodies with additional elements by conducting structural and schematic synthesis using morphological analysis.

Screw mixer working elements, the working surfaces of which are made of elastic materials or equipped with additional structural elements, are used both for transporting bulk and lumpy cargoes, and for homogenizing viscous and bulk media. The functional capabilities of SMW are determined by their layout scheme. In particular, single use, when integrating a separate working element into the design of specialized machines, the combination of the processes of moving and mixing the material is realized, and group use: if several SMW with opposite or multidirectional motion vectors are used within one technical device, the intensification of exclusively the mixing function is ensured.

A structural-schematic synthesis of screw working elements of mixers was carried out. During the implementation of the structural-schematic synthesis, the following dominant morphological features of the design elements of screw working elements of mixers were identified: screw design; screw stiffness; screw combination; by the number of spirals; screw pitch; screw diameter; spiral profile; screw type; method of fastening elements.

The implemented synthesis process made it possible to obtain effective variants of designs of screw working elements of mixers that make it possible to provide a significant intensification of the process of mixing materials. In particular, designs of screw working elements of mixers with additional elements, bladed with adjustable and non-adjustable spill holes, elastic-elastic and shaftless. 9 patents were obtained for the synthesized designs of screw working elements of mixers, and 2 patent applications were also filed and registered.

synthesis, morphological analysis, structural diagram, screw mixer working body, screw

Одержано (Received) 25.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 03.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 12.03.2026