

УДК 621.891

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.160-168](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.160-168)

О. Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук, **О. П. Цьонь**, доц., канд. техн. наук, **О. А. Юр'єв**,
С. М. Паньків, **Г. Б. Цьонь**, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна
e-mail: kaf_am@ukr.net

Синтез гальмівних елементів муфт двосторонньої дії для гвинтових конвеєрів

У статті розглянуто проблему підвищення надійності та захисту гвинтових конвеєрів шляхом удосконалення конструкції запобіжної муфти двосторонньої дії. Запропоновано нову конструкцію муфти, яка забезпечує захист робочих органів від перевантажень та дозволяє реверсне провертання у випадках заклинювання. Основну увагу приділено автоматизованому синтезу послідовностей збирання вузла на основі «зворотного» методу, що передбачає моделювання процесу розбирання з подальшим інвертуванням. Застосовано бінарне відношення обмеження рухливості (БВОР) для формалізації просторових зв'язків між деталями у вигляді матриць. Розроблено програмне забезпечення з інтеграцією в середовище CAD (SolidWorks), яке дозволяє автоматично генерувати математичну модель виробу та формувати оптимальну технологію збирання. Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованого підходу для проектування складальних вузлів і технологій збирання у сучасному машинобудуванні.

гвинтовий конвеєр, запобіжна муфта, гальмівний елемент, зворотний синтез, CAD-моделювання, SolidWorks

Постановка проблеми. У процесі експлуатації гвинтових конвеєрів виникає низка серйозних експлуатаційних проблем, пов'язаних із защемленням або заклинюванням транспортованого матеріалу в зазорі між гвинтовим робочим органом і нерухомим кожухом. Це може призводити до пошкодження матеріалу (особливо зернових культур), поломки робочих вузлів, зниження продуктивності та повного виходу з ладу механізму. Сучасні методи захисту приводів конвеєрів не завжди забезпечують достатню надійність, особливо при необхідності реверсного руху робочого органу. Актуальною стає розробка конструктивно простих, технологічно ефективних та надійних засобів захисту, здатних не лише запобігати руйнуванням при перевантаженнях, а й реалізовувати реверсивне провертання при заклинюванні. Крім того, існує потреба в автоматизованих методах моделювання та синтезу технології збирання таких складальних вузлів, що забезпечували б високу точність і зменшення трудомісткості на етапі проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика захисту гвинтових конвеєрів від перевантажень та заклинювань привертає значну увагу дослідників, оскільки ефективна робота таких систем безпосередньо впливає на надійність технологічних процесів у сільському господарстві та промисловості. Вагомий внесок у розвиток тематики зробили вітчизняні дослідники, зокрема І.Б. Гевко, А.Є. Дячун, О.Л. Ляшук та інші.

У роботі [1] автори провели аналіз пар контакту гальмівних елементів муфти двосторонньої дії. Результати дослідження дали змогу визначити конструктивні та матеріальні параметри, які забезпечують надійне фрикційне зчеплення при різних режимах роботи. Особливу увагу приділено вибору матеріалів і характеристикам зносу фрикційних елементів. У науковій публікації [2] представлено вдосконалену конструкцію муфти обгону двосторонньої дії, що поєднує функції захисту від перевантаження та можливість реверсивного обертання. Описано принцип роботи механізму, подано схеми взаємодії елементів, підтверджено ефективність розробки експериментальними дослідженнями.

© О. Л. Ляшук, О. П. Цьонь, О. А. Юр'єв, С. М. Паньків, Г. Б. Цьонь, 2025

Булгаков В.М. та Троханяк О.М. у роботі [3] акцентували увагу на вдосконаленні запобіжних механізмів шнекових конвеєрів, що працюють у важких експлуатаційних умовах. У статті розглянуто конструкції із застосуванням пружних елементів, які адаптуються до динамічних змін навантаження. У дослідженні Малащенко В.О. та ін. [4] проаналізовано параметри кулькових обгінних муфт двосторонньої дії. Наведено аналітичну модель муфти та результати моделювання її поведінки при змінних крутних моментах, що дозволяє обґрунтовано вибирати геометрію і жорсткість елементів муфти.

У роботі [5] автори представили результати експериментального дослідження інерційної запобіжної муфти для гвинтового конвеєра. Авторами підтверджено ефективність використання інерційного принципу як механізму захисту від перевантажень та описано особливості конструкції. У публікації [6] розглянули роботу гнучких шнекових транспортерів при транспортуванні сипких сільськогосподарських матеріалів. Досліджено силові й енергетичні параметри роботи системи, а також запропоновано напрямки вдосконалення приводів з урахуванням динаміки навантажень. У статті [7] досліджено віброактивність зубчастих передач, поєднаних із високофлексибельною металевою муфтою. Це дозволяє зробити висновки щодо придатності подібних рішень для систем із високим навантаженням і нестабільними умовами експлуатації.

У роботі [8] Zhao et al. запропоновано концепцію нової обгінної муфти, здатної передавати силу у зворотному напрямку при високих швидкостях обертання. Цей підхід може мати практичне значення для створення муфт із двосторонньою дією в автоматизованих механізмах.

Здійснений огляд свідчить про активний розвиток наукових досліджень у сфері муфт двосторонньої дії та захисних механізмів для шнекових транспортерів. Водночас залишається актуальним завдання інтеграції теоретичних моделей із сучасними засобами автоматизованого проєктування, зокрема із застосуванням CAD/CAM-технологій для моделювання та синтезу гальмівних елементів і вузлів підвищеної надійності.

Постановка завдання. Незважаючи на наявність значної кількості конструкцій захисних муфт, які застосовуються в приводах гвинтових конвеєрів, більшість із них орієнтовані на односторонню дію, не забезпечують реверсного провертання при заклинюванні шнека, або вимагають ручного втручання в процес розблокування. У реальних умовах експлуатації, особливо під час транспортування сипких або кускових матеріалів, конвеєри піддаються нерівномірним навантаженням, що може спричинити аварійні ситуації та простої обладнання. Існує потреба в розробці муфти, яка одночасно поєднує функції запобіжного зчеплення та забезпечує двосторонню дію із можливістю автоматичного реверсу при блокуванні робочого органу.

Крім того, в умовах сучасного виробництва важливим завданням є автоматизація процесів проєктування та складання таких складальних одиниць. Сучасні CAD/CAM системи дають змогу моделювати тривимірну геометрію виробу, але не забезпечують повної автоматизації синтезу технологічної послідовності збирання. Це вимагає залучення додаткових підходів і розробки алгоритмів формалізації, зокрема на основі зворотного синтезу та бінарного відношення обмеження рухливості (БВОР).

Отже, мета дослідження полягає в розробці конструкції муфти обгону двосторонньої дії для гвинтового конвеєра, яка забезпечуватиме захист приводу від перевантажень і можливість реверсивного провертання, а також у створенні методики автоматизованого синтезу процесу збирання цієї муфти з використанням CAD-моделювання, зворотного підходу та матричних описів БВОР.

Виклад основного матеріалу. Однією з основних проблем, які виникають при функціонуванні гвинтових конвеєрів є защемлення транспортованого сипкого матеріалу в зазорі між обертовою гвинтовою поверхнею робочого органу та нерухомою внутрішньою поверхнею направляючого кожуха. Так, при переміщенні сипких

матеріалів сільськогосподарського виробництва це призводить до їх пошкодження та дроблення, що є недопустимим для переважної більшості таких матеріалів, особливо насіннєвих. При транспортуванні твердих кускових матеріалів досить часто відбувається заклинювання гвинтового робочого органу, що призводить до поломок вузлів транспортерів, і як наслідок, зниження продуктивності в процесі виконання завантажувально-розвантажувальних робіт. Для усунення даних недоліків розроблені різні конструкції захисних механізмів, які забезпечують відносно повертання ведучих елементів приводів відносно ведених при виникненні перевантаження або надання заклиненням гвинтовим робочим органам реверсного повертання для вивільнення останніх із зони защемлення.

Розглянемо об'єкт дослідження, муфту обгону двосторонньої дії зображено на рисунку 1. Муфта обгону виконана у вигляді приводної зірочки 1, до якої в центрі жорстко закріплена зовнішня обойма 2, всередині якої встановлено підшипник кочення 3 з обмежувальними стопорними кільцями 4 в центральному отворі. Підшипник внутрішнім отвором жорстко встановлено на приводний вал 5 і закріплений стопорним кільцем 4. На проміжний зовнішній діаметр 6 приводної зірочки 1 встановлено стакан 7, який закріплений болтами 8. Між приводною зірочкою 1 і стаканом 7 встановлено розрізний на три частини циліндричний гальмівний сектор 9 з вмонтованими на їх торцях пружинами розтиску 10.

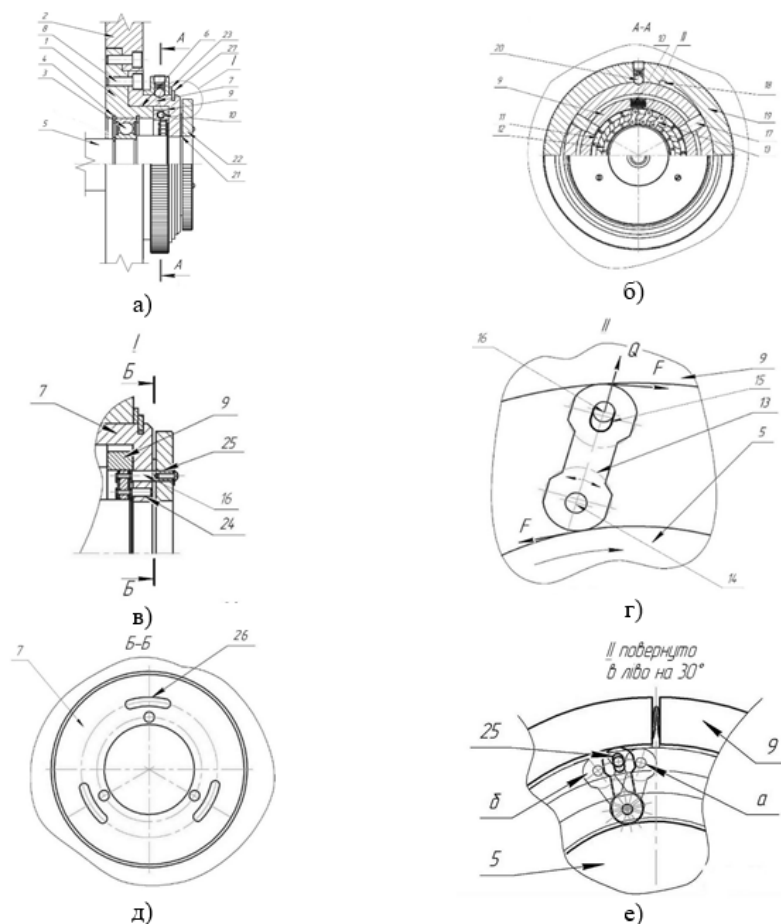


Рисунок 1 – Муфта обгону двосторонньої дії

Джерело: розроблено авторами

Дослідимо процес збирання запропонованої муфти. Маніпулювання з моделями виробів – прерогатива математичних моделей процесу проектування технології. Тут досить добре спрацює системний підхід.

Пасічником В.А. було запропоновано метод автоматизованого синтезу послідовностей збирання, який отримав назву „зворотного”. Його основною перевагою стала лінійна залежність кількості арифметичних операцій від числа деталей виробу. Це одна із найважливіших особливостей, що дозволяє аналізувати конструкції практично будь-якої складності (відомі методи синтезу дозволяють розглядати збирання до $15 \div 20$ деталей, оскільки складність обчислюваної задачі для них є степеневою залежністю від n). Ідея визначення технічно допустимої ПЗ полягає у тому, що для ЗВ, який є ієрархічним структурованим об’єктом зі вкладеним одна в одну збиральними одиницями, спочатку моделюється процес їх розбирання, при якому гарантовано виконуються всі умови доступу деталей в зону збирання, після чого інвертуванням може бути отримана ПЗ.

Ілюстрацію процесу „зворотного” синтезу розкладання-збирання запобіжної муфти двосторонньої дії, тривимірна модель якої подана на рисунку 2, приведено на рисунку 3.

Застосування бінарного відношення обмеження рухливості – БВОР приведено в таблицях А.1 – А.29. Параметри просторового положення деталей у вигляді БВОР позначені: «1» – фізичний контакт між деталями, «2» – з’єднання, що забезпечує цілісність, «8» – обмеження на деякій відстані.

Вигляд матриці БВОР для першого і останнього переходу розбирання-збирання ЗМ показано на рисунках 4, 5.

Тривимірна модель сепаратора в зборі показана на рисунку 6 а застосування „зворотного” синтезу для його розкладання-складання приведено на рисунку 7.

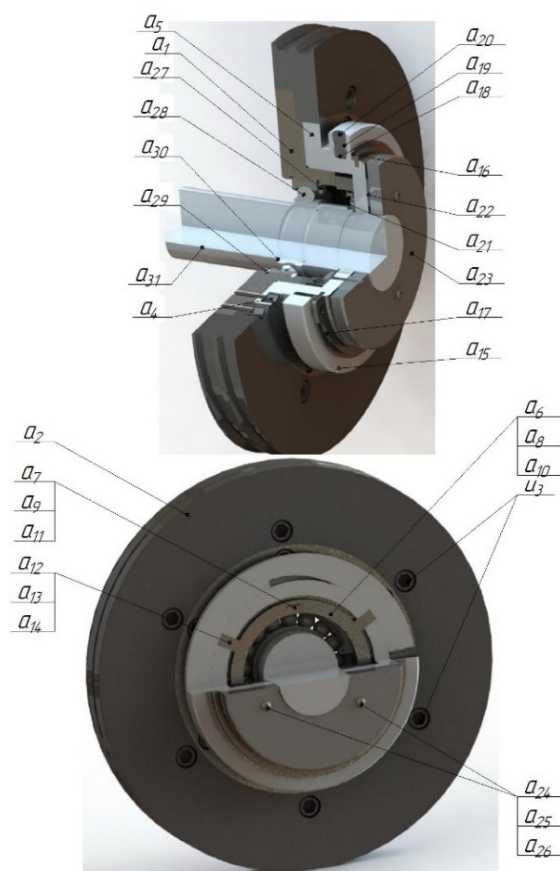


Рисунок 2 – Тривимірна модель запобіжної муфти двосторонньої дії

Джерело: розроблено авторами

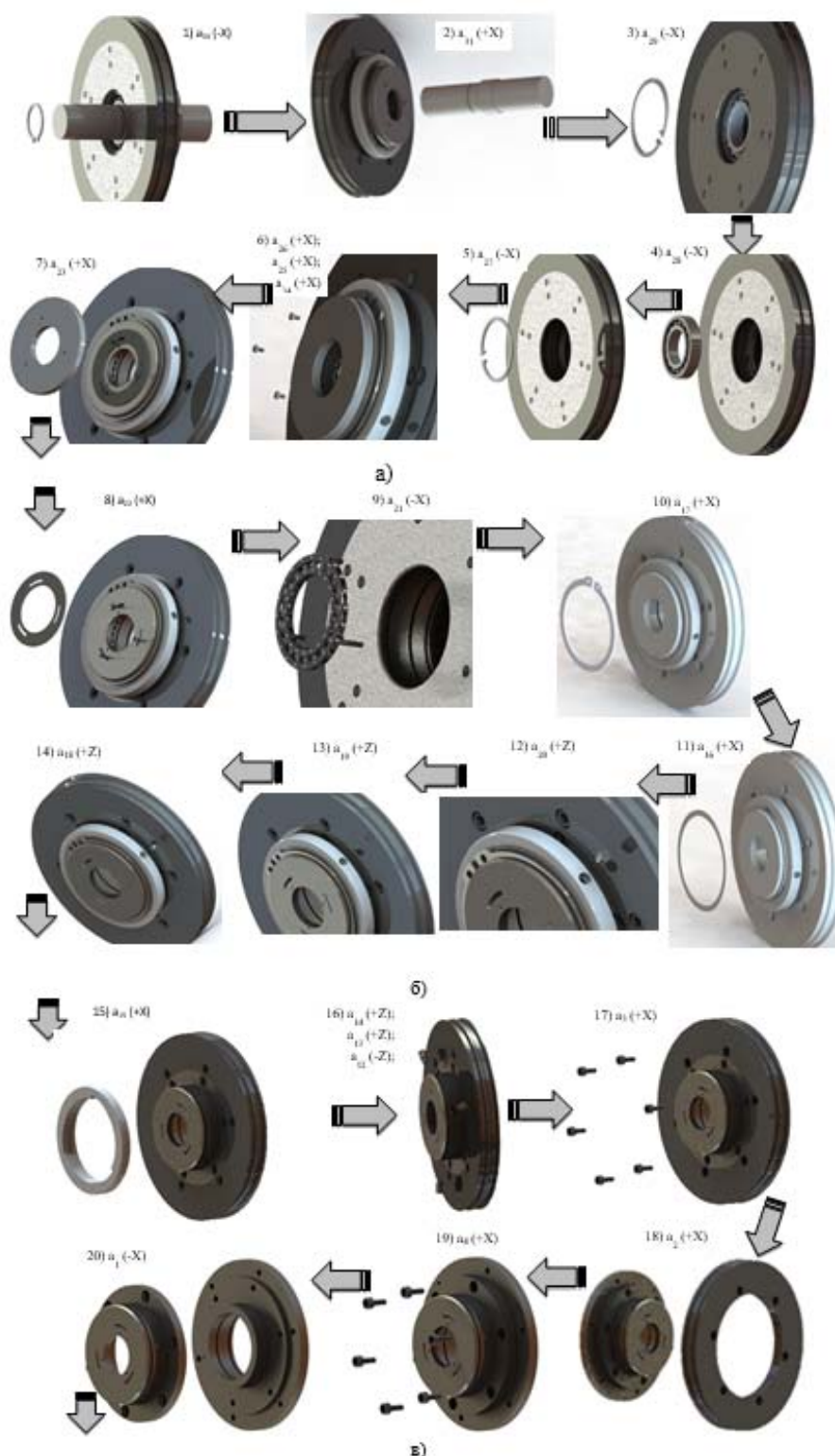


Рисунок 3 – Застосування „зворотного” синтезу для розкладання-збирання:

а) розкладання: $a_{30}(-X) \rightarrow a_{31}(+X) \rightarrow a_{29}(-X) \rightarrow a_{28}(-X) \rightarrow a_{27}(-X) \rightarrow a_{26}(+X) \rightarrow a_{25}(+X) \rightarrow a_{24}(+X) \rightarrow a_{23}(+X) \rightarrow a_{22}(+X) \rightarrow a_{21}(-X) \rightarrow a_{17}(+X) \rightarrow a_{16}(+X) \rightarrow a_{20}(+Z) \rightarrow a_{19}(+Z) \rightarrow a_{18}(+Z) \rightarrow a_{18}(-Z) \rightarrow a_{19}(-Z) \rightarrow a_{20}(-Z) \rightarrow a_{16}(-X) \rightarrow a_{17}(-X) \rightarrow a_{21}(+X) \rightarrow a_{22}(-X) \rightarrow a_{15}(+X) \rightarrow a_{14}(+Z) \rightarrow a_{13}(+Z) \rightarrow a_{12}(-Z) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_1(+X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_{12}(+Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X)$; збирання: $a_6(+X) \rightarrow a_7(+X) \rightarrow a_8(+X) \rightarrow a_9(+X) \rightarrow a_{11}(+X) \rightarrow a_{10}(+X) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{12}(-Z) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_1(+X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_{12}(+Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X)$; б) розкладання: $a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X) \rightarrow a_5(-X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_{10}(+X) \rightarrow a_{11}(+X) \rightarrow a_9(+X) \rightarrow a_8(+X) \rightarrow a_7(+X) \rightarrow a_6(+X) \rightarrow a_5(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_1(+X)$; збирання: $a_1(+X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_{12}(+Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X) \rightarrow a_5(-X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_{10}(+X) \rightarrow a_{11}(+X) \rightarrow a_9(+X) \rightarrow a_8(+X) \rightarrow a_7(+X) \rightarrow a_6(+X) \rightarrow a_5(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_1(+X)$; в) розкладання: $a_{15}(+X) \rightarrow a_{14}(+Z) \rightarrow a_{13}(+Z) \rightarrow a_{12}(-Z) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_1(+X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_{12}(+Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X) \rightarrow a_5(-X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_{10}(+X) \rightarrow a_{11}(+X) \rightarrow a_9(+X) \rightarrow a_8(+X) \rightarrow a_7(+X) \rightarrow a_6(+X) \rightarrow a_5(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_1(+X)$; збирання: $a_1(+X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_{12}(+Z) \rightarrow a_{13}(-Z) \rightarrow a_{14}(-Z) \rightarrow a_{15}(-X) \rightarrow a_{10}(-X) \rightarrow a_{11}(-X) \rightarrow a_9(-X) \rightarrow a_8(-X) \rightarrow a_7(-X) \rightarrow a_6(-X) \rightarrow a_5(-X) \rightarrow a_4(-X) \rightarrow a_3(-X) \rightarrow a_2(-X) \rightarrow a_1(-X) \rightarrow a_{10}(+X) \rightarrow a_{11}(+X) \rightarrow a_9(+X) \rightarrow a_8(+X) \rightarrow a_7(+X) \rightarrow a_6(+X) \rightarrow a_5(+X) \rightarrow a_4(+X) \rightarrow a_3(+X) \rightarrow a_2(+X) \rightarrow a_1(+X)$.

Джерело: розроблено авторами

M _x	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	a ₁₆	a ₁₇	a ₁₈	a ₁₉	a ₂₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅	a ₂₆	a ₂₇	a ₂₈	a ₂₉	a ₃₀	a ₃₁
a ₁	1	2	2	1											8	8	8				8	8	8	8	8	8	2	2	2	2	8
a ₂			1		1										8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₃				1											8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₄		8	8		1										8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₅	1	1	8	1		1	8	1		1		1	1	1	1	1	2	1			1	1	8	8	8	8	8	8	8	8	1
a ₆	1	8	8	8	1					1	1				8	8	8				1	8	8	1	1	1	8	8	8	8	8
a ₇	8	8	8	8	8	1		1							8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₈	1	8	8	8	1				1				1		8	8	8				1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₉	8	8	8	8	8			1		1					8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₀	1	8	8	8	1				1		1			1	8	8	8				1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₁	8	8	8	8	8	1				1					8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₂					1										8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₃				1											8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₄				1											8	8	8				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₅				1											1	8	1	1	1	1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₆				1												1					8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₇				2																	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₈				1														1			8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₁₉				8															1		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₂₀				8																	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
a ₂₁				1																		8	8	2	2	2	8	8	8	8	1
a ₂₂				1																			1	1	1	1	8	8	8	8	8
a ₂₃				8																				1	1	1	8	8	8	8	8
a ₂₄				8																				8	8	8	8	8	8	8	8
a ₂₅				8																					8	8	8	8	8	8	8
a ₂₆				8																						8	8	8	8	8	8
a ₂₇				8																								1	8	8	8
a ₂₈				8																									1	1	2
a ₂₉				8																										8	8
a ₃₀				8																											
a ₃₁				1																										2	

Рисунок 4 – Вигляд матриці БВОР для першого переходу розбирання-збирання

Джерело: розроблено авторами

M _x	a ₅	a ₆
a ₅		1
a ₆	1	

Рисунок 5 – Вигляд матриці БВОР для останнього переходу розбирання-збирання

Джерело: розроблено авторами

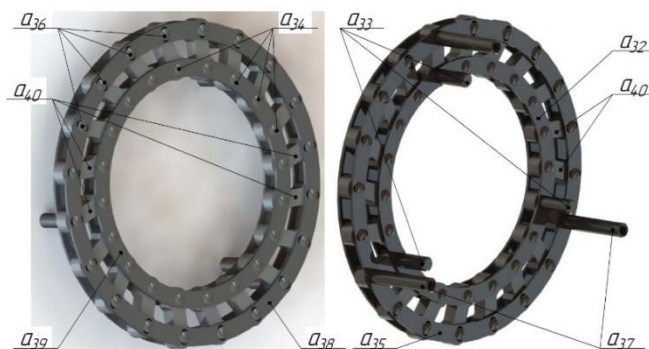


Рисунок 6 – Тривимірна модель сепаратора в зборі

Джерело: розроблено авторами

Зазначимо, що інформації лише про факт обмеження можливого переміщення деталей недостатньо для створення самих збиральних одиниць. Адже для збирання окрім наявності контакту однієї деталі з іншою потрібно враховувати їх з'єднання. Тому виникає необхідність у використанні додатково функції F_p яка ставить у відповідність парі деталей певний тип з'єднання. З точки зору технічної реалізації це можуть бути пресові з'єднання, різбові чи зварні з'єднання, однак з точки зору їх представлення в математичній моделі, всі вони мають одну загальну властивість – це з'єднання, що забезпечують цілісність (ЗЦІ) структурної одиниці.

Починаючи з моделі ЗВ розробка технології має виконуватись САМ системою. Щоб зменшити час проектних робіт і попередити погіршення якості проектних рішень через неможливість оцінки їх повної множини та вибору найкращого варіанту, а також

звичайних помилок, потрібно виключити втручання технолога в ці системи. Тобто відмінити введення людиною вручну послідовність виконання операцій, щоб не розривався зв'язок CAD $\leftrightarrow$ CAM.

Саме через це системи для вирішення слабоформалізованих технологічних задач виділено в окрему групу: CAPP – системи комп'ютерного проектування технологічних процесів при підготовленні виробництва.

Кінцевий результат проектування представляється у вигляді графів (або таких, що можуть бути зведені до графів) – свого роду аналогів традиційних схем збирання. Для вирішені питання автоматизованого введення та обробки інформації технологічного змісту (ресурси та час) необхідно вдосконалити програмне забезпечення.

Моделі технології носять головним чином табличний характер (рис. 7). Де модель виконання процесу з'єднання (установки елемента) задається у вигляді декартового добутку $T \times F$, тут $T = \{\tau_1, \dots, \tau_k\}$ – множина технологічних операторів, які характеризують процес виробництва (операції, переходи); F – поняття «контуру» як сукупності властивостей певного призначення у виробі або технологічній системі. Для описання технологічної системи S в цілому, вводиться множина операторів $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_j\}$, що характеризують матеріальні об'єкти (обладнання, інструмент, оснастку тощо). У такому випадку: $S = T \cup \Pi$, де τ_1 – свердління; τ_2 – зняття фаски; τ_3 – нарізання різі; τ_4 – установка шайби; τ_5 – установка гвинта; π_6 – свердло; π_7 – свердло; π_8 – мітчик; π_9 – інструмент для установки болта; τ_{10} – зенкерування; τ_{11} – точіння; τ_{12} – зняття фаски; τ_{13} – установка стопорного кільця; π_{14} – різець; π_{15} – різець прохідний; π_{16} – інструмент для установки стопорного кільця; τ_{18} – зняття фаски; τ_{19} – установка заклепки; τ_{20} – установка пальця 1; τ_{21} – установка пальця 2; π_{22} – фреза пальчикова; π_{23} – зенкер; π_{24} – свердло; π_{25} – інструмент для установки заклепки; π_{26} – інструмент для установки пальця 1; π_{27} – інструмент для установки пальця 2.

Матриця контурів: F_1 – отвору; F_2 – положення гвинта; F_3 – положення шайби; F_4 – різьбового отвору; F_5 – отвору; F_6 – положення болта; F_7 – різьбового отвору; F_8 – канавки; F_9 – положення стопорного кільця; F_{10} – отвору; F_{11} – отвору фасонного; F_{12} – положення заклепки; F_{13} – положення пальця 1; F_{14} – положення пальця 2.

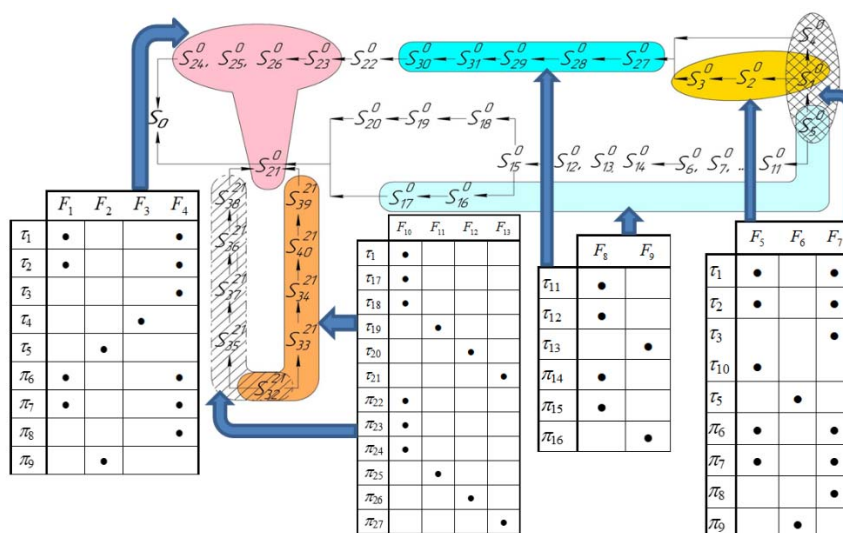


Рисунок 7 – Представлення результатів моделювання ТПЗ

Джерело: розроблено авторами

Для автоматизації формування математичної моделі ЗВ у вигляді БВОР на основі його 3D моделі (CAD-система, яка підтримує тривимірне моделювання,

SolidWorks) було розроблено нове програмне забезпечення. Інтерфейс CAD системи показаний на рисунку 8.

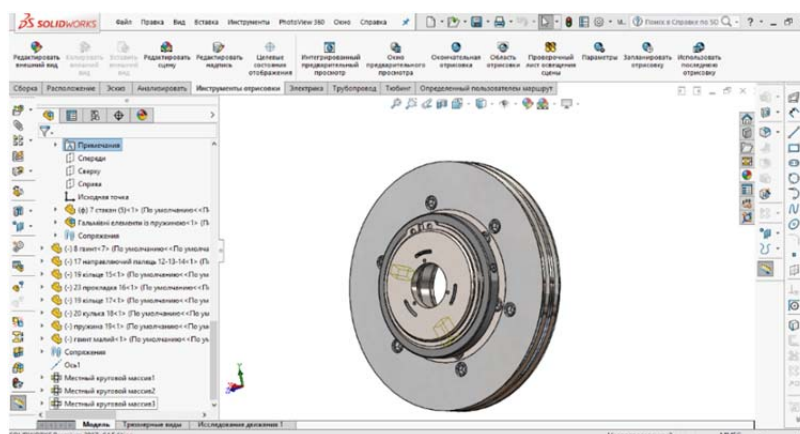


Рисунок 8 – Интерфейс CAD системы

Джерело: розроблено авторами

Програмне забезпечення для автоматизованого формування математичної моделі муфти двосторонньої дії в вигляді відношень обмежень рухливості дозволило безпомилково виявляти всі значущі властивості складального виробу з його тривимірної моделі, створеної у середовищі SolidWorks, яка підтримує тривимірне моделювання.

Висновки:

1. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність застосування муфти обгону двосторонньої дії в приводах гвинтових конвеєрів, що дозволяє забезпечити ефективний захист робочих органів від перевантажень та реалізувати реверсивне прокрутання при заклинюванні.

2. Запропонована конструкція муфти з розрізними гальмівними секторами та пружинами розтиску забезпечує фрикційне зчеплення між ведучими та веденими елементами, а також дозволяє уникнути пошкодження транспортованого матеріалу й збоїв у роботі системи.

3. Застосування методу зворотного синтезу збирання на основі попереднього моделювання процесу розбирання дає змогу автоматично сформувати технічно допустиму послідовність складання навіть для складних вузлів.

4. Використання бінарного відношення обмеження рухливості (БВОР) дозволяє формалізувати просторові зв'язки між деталями у вигляді матриць, що значно спрощує процес автоматизації розробки технологічного процесу збирання.

5. Розроблене програмне забезпечення з інтеграцією в середовище SolidWorks дозволило автоматизувати отримання математичних моделей складання, скоротити час проектування та зменшити кількість помилок за рахунок виключення ручного програмування послідовності операцій.

6. Представлений підхід має широкі перспективи застосування в машинобудуванні для автоматизованого проектування технологій складання вузлів зі складною структурою та просторовими обмеженнями, зокрема для обладнання аграрного та промислового призначення.

Список літератури

1. Гевко І.Б., Дячун А.Є., Комар Р.В., Босюк П.В. Дослідження пар контакту гальмівних елементів муфти двосторонньої дії. *Сільськогосподарські машини*, 2014. С. 25–30.
2. Дячун А.Є., Дзюра В.О., Ляшук О.Л., Гевко І.Б. Муфта обгону двосторонньої дії. *Сільськогосподарські машини*, 2015. С. 45–50.
3. Булгаков В. М., Троханяк, О. М. Дослідження та вдосконалення запобіжних механізмів шнекових конвеєрів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2023. Вип. 53. С. 23-31.

4. Малащенко В. О., Семенюк В. Ф., Лисяк Б. Р. Параметри кулькової обгінної муфт двосторонньої дії. *Підйомно-транспортна техніка*, 2023, №1(68) 87-94, DOI 10.15276/pidtt.1.68.2023.07
5. Karetin V., Stukhlyak P., Kurko A. Experimental studies of the inertial safety clutch for screw conveyor. *Scientific Journal of TNTU*. 2020. Vol 4. P. 86–96.
6. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Adamchuk, V., Nowak, J., Beloev, H. Research into Power and Load Parameters of Flexible Screw Conveyors for Transportation of Agricultural Materials. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Nature Switzerland AG*, 2023, 289, 61–75. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13090-8_6.
7. K. Mariusz, N. Wieczorek, L. Konieczny. Research on vibroactivity of toothed gears with highly flexible metal clutch under variable load conditios. *Sensors*. (2022), 23 (1) 287.
8. Zhao, Huiyong & Wang, Baohua & Zhang, Guangde & Li, Jiao. Concept of a new overrunning clutch with the characteristic of reverse force transfer at high speed. *Engineering Reports*. (2021). 3. 10.1002/eng2.12415.

References

1. Hevko, I. B., Diachun, A. Ie., Komar, R. V. & Bosiuk, P.V. (2014). Study of contact pairs of braking elements of a double-acting clutch. *Agricultural machinery*, 25–30.
2. Diachun, A. Ie., Dziura V.O., Liashuk O.L. & Hevko I.B. (2015). Double-acting overrunning clutch. *Agricultural machinery*, 45–50.
3. Bulhakov, V. M. & Trokhaniak, O. M. (2023). Research and improvement of safety mechanisms of screw conveyors. *Design, production and operation of agricultural machinery*, 53, 23-31.
4. Malashchenko, V. O., Semeniuk, V. F. & Lysiak, B. R. (2023). Parameters of double-acting ball overrunning clutches. *Lifting and conveying equipment*, №1(68) 87-94, DOI 10.15276/pidtt.1.68.2023.07
5. Karetin, V., Stukhlyak, P. & Kurko A. (2020). Experimental studies of the inertial safety clutch for screw conveyor. *Scientific Journal of TNTU*, vol 4, 86–96.
6. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Adamchuk, V., Nowak, J., Beloev, H. (2023). Research into Power and Load Parameters of Flexible Screw Conveyors for Transportation of Agricultural Materials. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Nature Switzerland AG*, 289, 61–75. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13090-8_6.
7. Mariusz, K., Wieczorek N., Konieczny, L. (2022). Research on vibroactivity of toothed gears with highly flexible metal clutch under variable load conditios. *Sensors*, 23 (1) 287.
8. Zhao, Huiyong & Wang, Baohua & Zhang, Guangde & Li, Jiao. (2021). Concept of a new overrunning clutch with the characteristic of reverse force transfer at high speed. *Engineering Reports*. 3. 10.1002/eng2.12415.

Oleg Lyashuk, Prof., DSc., **Oleg Tson**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Yuriev**, **Serhiy Pankiv**, **Anna Tson**, PhD tech. sci.

Ternopil Ivan Pulu National Technical University, Ternopil, Ukraine

Synthesis of Double-Action Brake Elements for Screw Conveyors

The article presents the synthesis and design of braking elements for double-action overrun clutches intended for use in screw conveyors. The performance and reliability of such conveyors significantly depend on the appropriate configuration and accurate calculation of their key structural, kinematic, and dynamic parameters. A critical issue addressed is the jamming of bulk materials between the rotating screw surface and the stationary housing, which can lead to damage of transported goods, mechanical failures, and productivity losses.

To mitigate these problems, a novel design of a double-action overrun clutch with integrated cylindrical braking sectors is proposed. The clutch assembly includes a drive sprocket rigidly connected to an outer race, inside of which a rolling bearing is mounted on a drive shaft. Between the sprocket and an external cup, a segmented cylindrical braking element with expansion springs is installed. This configuration ensures controlled torque transfer and provides reverse rotation capability in case of screw jamming, allowing the conveyor system to self-release from overload conditions.

A key focus of the study is the implementation of automated assembly synthesis using the “reverse synthesis method” introduced by V.A. Pasichnyk. This approach models the disassembly process to derive feasible assembly sequences, significantly reducing computational complexity and enabling the analysis of assemblies with more than 30 parts. The method utilizes binary constraint matrices (BCOM) to represent mechanical relationships and constraints between components.

The process is integrated into a SolidWorks-based CAD/CAM environment, supported by custom-developed software that generates motion restriction maps and automates the identification of mechanical joints and contacts. The resulting models include 3D visualizations of the clutch and separator, detailed constraint tables, and assembly/disassembly graphs.

This methodology enhances the automation, precision, and efficiency of the mechanical design process. It is particularly valuable for conveyor system applications where rapid prototyping and simulation are essential for operational reliability and safety.

screw conveyor, safety clutch, braking element, reverse synthesis, CAD modeling, SolidWorks

Одержано (Received) 14.05.2025

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 20.05.2025