

УДК 621.81

І.Б. Гевко, А.Є. Дячун, Р.О. Любачівський, І.І. Брошак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

СТЕНДОВЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ МАШИН

Приведені конструкції стендів для дослідження приводів та робочих органів машин. Зокрема розглянуто стендове оснащення для дослідження жорсткості шнеків, гвинтових конвеєрів, змішувачів, протруювачів, запобіжних муфт та інші. Наведено опис їх будови та використання. Описано принципи експлуатації стендового оснащення в автоматизованому режимі.

Ключові слова: *стенд, привід, механізм, спіраль, гвинтовий транспортер, змішувач, запобіжна муфта, робочий орган.*

Постановка проблеми. Гвинтові транспортно-технологічні системи використовуються у різних галузях народного господарства. Ці механізми використовуються для змішування, транспортування, протруювання і необхідного переміщення сільськогосподарських, будівельних матеріалів, харчових та фармацевтичних продуктів, металевої стружки тощо. При виконанні технологічних процесів гвинтовими транспортно-технологічними механізмами машин (ГТТММ) не завжди досягається необхідна продуктивність і часто виникають перевантаження, що призводять до значних деформацій і помилок елементів цих машин. Тому, для забезпечення ефективного виконання технологічних процесів ГТТММ необхідно раціонально проектувати і експериментально досліджувати конструкції приводів та робочих органів цих машин.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Розроблено конструкції стендового обладнання для дослідження гвинтових механізмів присвячені Турпаєва А.І. [1], Сисоліна В.П. [2], Григорьєва А.М. [3], Гевка Б.М. [4] та інших. Однак цілий ряд питань, що стосуються проектуванню окремих гвинтових робочих органів, дослідження їх характеристик, розходу електроенергії в залежності від різних параметрів потребує свого вирішення.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення стендів для дослідження ефективності технологічних процесів транспортування та змішування сипких матеріалів, а також визначення жорсткостей гвинтових робочих органів (ГРО) і точності та надійності спрацювання запобіжних муфт (ЗМ) в автоматичному режимі в широкому діапазоні частот обертання робочих органів та навантаження дослідних об'єктів з отримання високоточних даних із використання персонального комп'ютера.

Реалізація результатів досліджень.

При проведенні експериментальних досліджень з метою підтвердження результатів теоретичних досліджень і уточнення відповідних параметрів ГТТММ було спроектовано і виготовлено ряд експериментальних установок і стендів [5, 6, 7]. Вони використовувались для дослідження продуктивності та якості виконання процесів транспортування і змішування ГТТММ, дослідження жорсткості ГРО і точності та надійності спрацювання ЗМ. В розроблених конструкціях стендового обладнання використовувався автоматизований електропривід, який включав трьохфазний асинхронний електродвигун, що керувався перетворювачем частоти (ALTINAR-71) (ПЧ) з персонального комп'ютера (ПК) за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0 (рис. 1.а) [8].

Завдяки цій програмі в автоматизованому режимі у ПК здійснювався вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводився його запуск. При керуванні роботи двигуна була можливість плавного нарощування та зменшення його частоти обертання в межах від 0 до 1480 об/хв., що дозволяло виконувати дослідження як статично так і в динаміці. Крім того, існувала можливість різкої зупинки та раптового включення реверсу вала двигуна. Точні дані про частоту обертання на валу двигуна (похибка у межах $\pm 1,5\%$) фіксуються за допомогою давача частоти обертання вала двигуна (E40S6-10Z4-6L-5), який підключено до ротора двигуна і ПЧ. Дані про витрати енергії і крутних моментів на валу електропривода в залежності від навантаження в

установлені терміни часу у вигляді табличних даних та графічних залежностей відображались на моніторі ПК.

Робочий термінал ПЧ дозволяв відображати характеристики перетворювача, електричні величини, робочі параметри і несправності; дозволяв змінювати настройки і конфігурацію ПЧ; керувати перетворювачем в локальному режимі з допомогою клавіатури, чи після підключення до комп'ютера; зберігати і відновлювати конфігурацію в енергонезалежній пам'яті терміналу. ПЧ забезпечував три режими роботи: транспортування, загальний режим чи режим із змінним моментом. Віртуальний осцилограф призначений для відображення станів ПЧ і його внутрішніх змінних у функції часу і в частотній області. Вікно осцилографа викликається з вікна конфігурації кнопкою Score. Воно фактично є одним з видів вікна конфігурації (рис. 1.6). При його відкритті в головному меню з'являється меню Score (1) і однойменна панель інструментів (2). У полі осцилографа (3) в осях X (6) і Y (5) будуються графіки. При бажанні в полі осцилографа можна вивести легенду (4). Легенда відображає зв'язок між сигналами, виведеними на осцилографі, їх назвами і кольоровим маркуванням. На панелі тригера (7) задаються режими роботи осцилографа, відображається стан осцилографа. Налаштування розгортки осцилографа здійснюється у групі параметрів Sampling. Для повільних процесів (Score type = Slow score) задається: для режиму Sampling rate кількість точок (Nber of points) і відстань в часі між ними (Sampling rate); для режиму Time by division кількість точок (Nber of points) і ціну поділки (Time by division). Кількість точок для повільних процесів може бути вибрано в межах 10 ... 1000, крок за часом 0,1 ... 100 с. Установки для вимірювання швидких процесів (напр. пуско-гальмівні режими) аналогічні. Крок часу вибирається в межах 0,001 ... 1 с. Максимальна кількість вимірювань (точок), яке може бути записано в пам'ять перетворювача, становить 4000. Максимальна кількість вимірюваних сигналів у Score може бути не більше 4, тому при знятті більше 1 сигналу кількість точок для одного сигналу пропорційно зменшується: 2 - 2000, 4 - 1000.

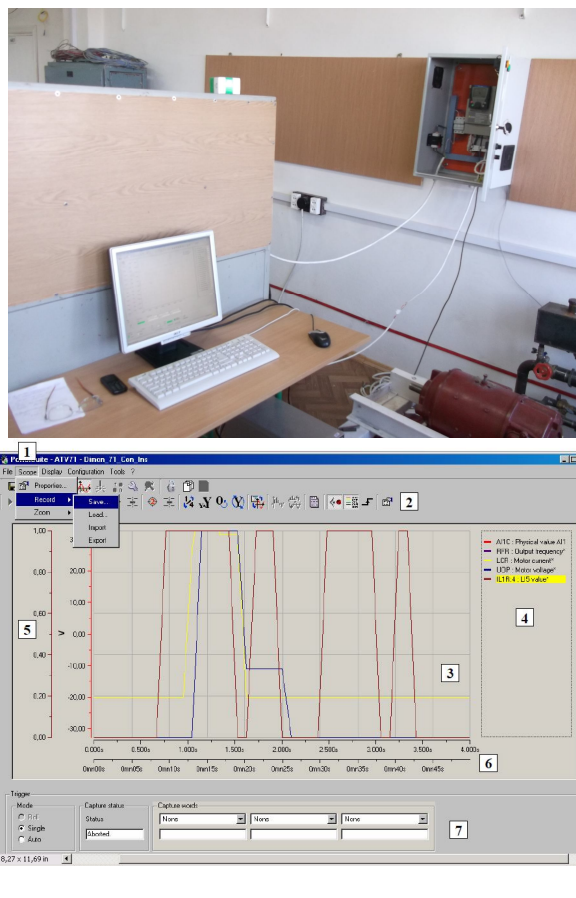


Рис. 1. Інструментарій для проведення експериментальних досліджень:

а) загальний вигляд автоматизованого електроприводу для дослідження механічних систем з перетворювачем частоти і персональним комп'ютером; б) вікно осцилографа

З метою проведення експериментальних досліджень визначення якості та ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовим змішувачем з пересипом і встановлення його основних функціонально - експлуатаційних характеристик, на базі створених винаходів [9, 10], спроектовано та виготовлено дослідну установку. З її допомогою були проведені експериментальні дослідження в широких діапазонах частоти обертання та зміни кута нахилу гвинтового змішувача з отриманням даних у персональному комп'ютері (рис. 2).

Конструкція дослідної установки (рис. 2.а) включає гвинтовий змішувач з пересипом 1, який приводиться в рух з персонального комп'ютера (ПК) 2 через перетворювач частоти (серії Altivar) 3. Гвинтовий змішувач з пересипом складається з рами 4, на якій з можливістю осьового провертання і зміни кута нахилу відносно горизонту завдяки опорі 5 розташовано корпус 6, в якому знаходиться шнек 7, що приводиться в рух трьохфазним асинхронним електродвигуном (АИР90L4УЗ) 8. У корпусі 6 закріплено бункер 9 та вивантажувальний 10 і завантажувальний 11 отвори – виходи, в які встановлено пересипний патрубок 12. На двигуні 8 закріплено давач частоти обертання вала двигуна (E40S6-10Z4-6L-5) 13.

Дослідна установка працює наступним чином. З персонального комп'ютера 2 подається необхідна інформація на перетворювач частоти 3, який приводить у рух електродвигун 8 гвинтового змішувача 1. Двигун відповідно обертає шнек 7 у потрібному напрямку. Змішувані сипкі матеріали дозовано подаються у бункер 9, звідки потрапляють у корпус 6 у зону обертання шнека 7. Далі матеріали перемішуючись шнеком транспортуються до вивантажувального отвору – виходу 10, з якого потрапляють до пересипного патрубку 12, де під дією гравітаційної сили зсипаються у завантажувальний отвір – вихід 11, і, відповідно, з нього знову ж попадають у зону транспортування шнека. Таким чином змішувані матеріали проходять циклічне змішування механічною дією шнека і силою гравітації. Кількість циклів (тривалість одного змішування) для забезпечення повного змішування сумішей визначається експериментально і залежить від реологічних властивостей змішуваних матеріалів, коефіцієнту заповнення гвинтового змішувача та кута нахилу корпусу 6 відносно горизонту. Після здійснення відповідної кількості циклів (визначеного згідно методики експериментальних досліджень часу виконання технологічного процесу змішування) проводилось виймання пересипного патрубку 12 із завантажувального отвору – виходу 11 і наповнення мірного посуду змішаним сипким матеріалом з подальшою зупинкою установки (рис. 2.а). При цьому визначалась якість змішаної суміші з відібраних проб та розхід енергії від частоти обертання шнека змішувача, кута нахилу корпусу та коефіцієнта його завантаження.

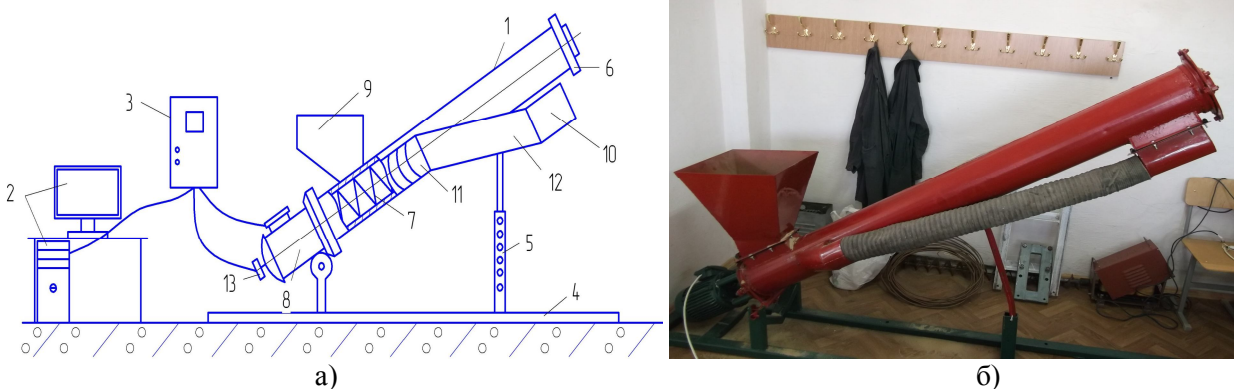


Рис. 2. Дослідна установка для змішування сипких матеріалів:
а) схема; б) загальний вигляд

Для проведення експериментальних досліджень ЗМ ГТТММ та встановлення їх основних функціонально - експлуатаційних характеристик було спроектовано та виготовлено дослідний стенд [5, 6]. З його використанням в автоматизованому режимі керування проводяться необхідні експериментальні дослідження в широких діапазонах частоти обертання та навантаження ЗМ з отриманням необхідних даних у персональному комп'ютері. Схема стенду зображена на рис. 3.а, а загальний вигляд на рис. 3.б.

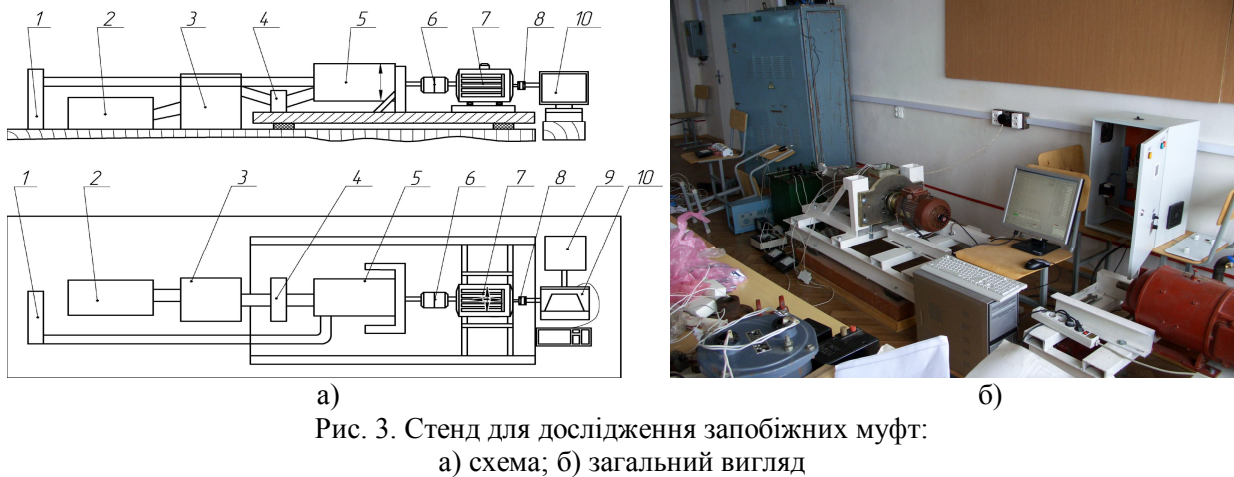


Рис. 3. Стенд для дослідження запобіжних муфт:
а) схема; б) загальний вигляд

Стенд складається із спіралі опору (4 кВт) 1, стабілізатора напруги (Б2-3) 2, латра (Р Н0-250-10) 3, діодного моста (КД203Г - 4 шт.) 4, генератора (двигун постійного струму 4ПФ112ЛВБ04) 5, досліджуваного об'єкта 6, трьохфазного асинхронного електродвигуна (АИР90Л4У3) 7, датча частоти обертання вала двигуна (Е40S6-10Z4-6L-5) 8, перетворювача частоти (ALTIVAR 71) 9, персонального комп'ютера (ПК) (485 інтерфейс) 10, вольтметрів (Э515) 11 і 14, амперметрів (Э59) 12 і 13 та індикатора умовної напруги на навантаженні (лампа розжарення 100 Вт). Усі зазначені вузли стенда закріплено стаціонарно, а регулювання необхідного виставлення досліджуваної механічної системи 6 здійснюється лише вертикальним переміщенням генератора 5 та горизонтальним повздовжнім і поперечним переміщенням електродвигуна 7, що знаходяться на пересувних опорах, які, з метою усунення значних вібрацій та коливань, розташовано на гасниках коливань.

Дослідження ЗМ з використанням стенду проводяться наступним чином. Дослідний об'єкт 6 виставлений на відповідний момент спрацювання поміщають на валах генератора 5 і електродвигуна 7 і за допомогою пересувних опор здійснюють необхідне балансування ведучої та веденої півмуфт ЗМ. У зв'язку із можливістю значного зміщення електродвигуна 7 у поперечному та повздовжньому напрямі на даному стенді можна випробовувати ЗМ які з'єднують не лише співвісні вали, але й вали, передача моменту через які здійснюється за допомогою ланцюгових, зубчастих та карданних передач. Далі проводиться підключення до електромережі стабілізатора напруги 2, перетворювача частоти (ПЧ) 9, ПК 10 та запускається програма PowerSuite для налаштування перетворювачів частоти серії Altivar [8]. Наступним кроком є вибір тих характеристик, які необхідно досліджувати при проведенні експериментів згідно розробленої методики проведення випробувань. В процесі проведення випробувань вони відображаються на моніторі ПК у вигляді табличних даних та графічних залежностей. Фіксація даних проводиться із наперед заданою частотою. Завдяки цій програмі в автоматизованому режимі на ПК здійснюється вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводиться його запуск. Також при керуванні роботи двигуна є можливість плавного нарощування та зменшення його частоти обертання в межах від 0 до 1480 об/хв., що дозволяє виконувати дослідження як в статиці, так і в динаміці. Крім того, існує можливість різкої зупинки та раптового включення реверсу вала двигуна. Дані про частоту обертання на валу двигуна (похибка у межах $\pm 1,5\%$) фіксуються за допомогою датча частоти обертання вала двигуна (Е40S6-10Z4-6L-5) 8, який підключено до ротора двигуна і ПЧ. При запуску двигуна 7 приводиться рух досліджуваного об'єкта 6 і через шпонкове з'єднання якір генератора 5. Генератор працює з незалежним збудженням для можливості створення необхідного навантаження на дослідному об'єкті. Тому із стабілізатора 2 струм поступає на латр 3, де проводиться його регулювання ($U = \text{const}$) до необхідної величини ($I = 0 \dots 4\text{А}$), а далі через випрямляч (діодний міст) 4 подається на обмотку збудження статора генератора. Відповідно струмом обмотки збудження змінюється струм навантаження генератора (результуюче магнітне поле генератора) [7] і, тим самим, змінюється споживана потужність генератора. Відслідкування величини напруги та струму в обмотці збудження генератора здійснюється за допомогою вольтметра 11 та амперметра 12. Перетворена механічна енергія обертання якоря генератора в електричну поступає на спіраль опору 1, де і виділяється у вигляді тепла, а також на індикатор

умовної напруги (лампа розжарення починає виділяти світло). Дані про її величину можна одержати з табличних даних і отриманих графічних залежностей у ПК, а також визначити за показниками вольтметра 14 і амперметра 13. При нарощуванні результуючого магнітного поля генератора (збільшення моменту опору) до певного значення проходить спрацювання досліджуваного механічного запобіжного пристрою, що й фіксується ПК.

З метою визначення крутильної жорсткості ГРО, впливу радіусу кривини на надійність роботи спіралей, виявлення найбільш небезпечних зон в конструкціях елементів гвинтових робочих органів при перевантаженнях, використовувався експериментальний стенд, який зображено на рис. 4. Він призначений для статичних, динамічних і ресурсних випробувань та порівняльної оцінки конструкцій ГРО з різними конструктивними параметрами.

Стенд (рис. 4) складається з рами 7, на якій закріплений генератор (двигун постійного струму 4ПФ112ЛВБ04) 1, на поворотній плиті 3, яка за допомогою пари болтових з'єднань 2 і 4 кріпиться до направляючого швелера 6. Направляючий швелер закріплений до рами 7, а його фіксація в заданому положенні забезпечується болтовим з'єднанням 5. Також стенд містить трьохфазний асинхронного електродвигун (АИР90Л4У3) 10, який закріплено на пересувній плиті. Досліджуваний ГРО 8 за допомогою або фланцевих з'єднань, або фланцевого з'єднання і ЗМ 9 встановлений на вихідних валах електродвигунів 1 і 10. Дослідження крутильної жорсткості гвинтових спіралей з використанням стенду проводяться наступним чином. Дослідний об'єкт 8 поміщають на валах генератора 1 і електродвигуна 10 і за допомогою пересувної плити здійснюють необхідне встановлення радіусу кривизни спіралі. У зв'язку із можливістю значного зміщення електродвигуна 10 у поперечному та повздовжньому напрямі на даному стенді можна випробовувати спіралі різноманітної довжини і конфігурацій. Далі проводиться підключення до електромережі ПЧ, ПК (представлені на рис. 4) та запускається програма PowerSuite для налаштування перетворювачів частоти серії Altivar [8].

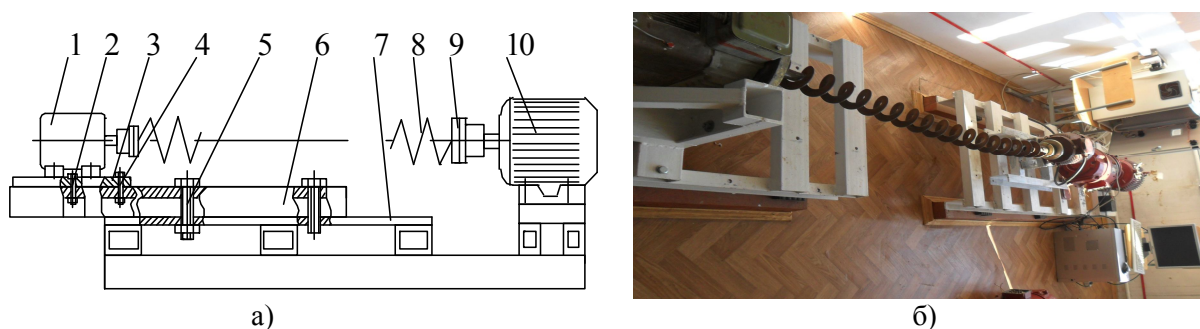


Рис. 4. Стенд для дослідження крутильної жорсткості гвинтових спіралей:
а) схема; б) загальний вигляд

В процесі досліджень на даному стенді можна виявити небезпечні радіуси кривизни спіралей, критичні навантаження, зони, які спричиняють руйнування елементів секційних гвинтових робочих органів, встановити вплив різних конструктивних параметрів (довжина секції, діаметр) на їх ресурсні характеристики, а також провести порівняльні випробування різних типів дослідних взірців.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Розроблено і виготовлено стенди для дослідження ефективності виконання технологічних процесів транспортування та змішування сипких матеріалів, а також визначення жорсткостей гвинтових робочих органів і точності та надійності спрацювання запобіжних муфт в автоматичному режимі в широкому діапазоні частот обертання робочих органів та навантаження дослідних об'єктів з отримання високоточних даних із використання персонального комп'ютера.

1. Турпаєв А.И. Винтовые механизмы и передачи. / А.И. Турпаєв. - М.: Машиностроение, 1982. - 223 с.

2. Сисолін В.П. та інші. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст]: підручник / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропивний. – К.: Урожай, 2001 – Т. 1 : Машини для рільництва. – 2001. – 384 с.
3. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
4. Гевко Б.М. Механізми з гвинтовими пристроями / Гевко Б.М., Данильченко М.Г., Рогатинський Р.М. Пилипець М.І., Матвійчук А.В. – Львів: Світ, 1993. – 208 с.
5. Гевко, І.Б. Стенд для дослідження гвинтових-транспортно-технологічних систем машин [Текст] / І.Б. Гевко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 111. – С. 134-143.
6. Пат. №61115. Україна, МПК G01L 5/00. Стенд для дослідження механічних систем в автоматичному режимі керування / Гевко І.Б., Брошак І.І., Сай В.З., Ляшук О.З., Пономаренко С.В., Комар Р.В.; заявник і власник патенту ТНТУ ім. І. Пулюя. – u 201002148. заявл.26.02.2010 р.; опубл. 25.11.2010р., Бюл. №22.
7. Гевко І., Любачівський Р. Установа для дослідження змішування сипких матеріалів гвинтовим змішувачем з пересипом [Текст] / І. Гевко, Р. Любачівський // Матеріали п'ятнадцятої наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2011. – 15 с.
8. Казачковський Н.Н. Программа PowerSuite для настройки преобразователей частоты и устройств плавного пуска (версия 2.3.0): методичні вказівки [для слухачів курсів підвищення кваліфікації та студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»] / Н.Н. Казачковський, Д.В. Якупов. – Дніпропетровськ: НГУ, 2006. – 45 с.
9. Пат. 34056 Україна, МПК B01F 7/00. Змішувач гвинтовий з пересипанням / Гевко І.Б., Левенець В.Б., Гевко М.Р.; заявник і власник патенту Гевко І.Б., Левенець В.Б., Гевко М.Р. – u200802639; заявл. 29.02.08; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.
10. Пат. №68012 Україна. МПК B01F/00. Установа для транспортування і змішування сипких сумішей з вертикальним пересипом / Любачівський Р.О., Гевко І.Б., Івасечко Р.Р., Дячун А.Є., Олендр В.М.; заявник і власник патенту Любачівський Р.О., Гевко І.Б., Івасечко Р.Р., Дячун А.Є., Олендр В.М. – u 201110432. заявл.29.08.2011р.; опубл.12.03.2012р., Бюл. №5.