

УДК 621.880

**В. Малащенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук; О. Стрілець<sup>1</sup>;  
В. Стрілець<sup>2</sup>, канд. техн. наук**

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

<sup>2</sup> Національний університет водного господарства та природокористування

## **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНИХ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ**

*Резюме.* Наведено конструкції обладнання для експериментального дослідження статичних та динамічних характеристик пружних шпонкових з'єднань при передаванні ними періодичного, ударного довготривалого і короткотривалого навантаження та їх значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму, від вала до маточини або навпаки без урахування і з урахуванням втрат енергії у них.

*Ключові слова:* пружна призматична шпонка, стенд, статика, динаміка.

**V. Malaschenko, O. Strilets, V. Strilets**

## **EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF STATIC AND DINAMIC PROPERTIES OF THE RESILIENT KEY CONNECTIONS**

*The summary.* The design of equipment for experimental research of static and dynamic properties of the resilient key connections during transmission of the torque from shaft to hub or otherwise with cyclic, shock long and shock short-term loading and excessive overload causing executive devise failure, with or without consideration of energy losses in these connections are described.

*Key words:* resilient prismatic key, test bench, statics, dynamics.

**Постановка проблеми.** В машинобудуванні досить поширеним є використання зубчастих, ланцюгових, пасових передач тощо. З'єднання зірочок зубчастих передач та ланцюгових передач з валами здійснюється різними методами, в тому числі за допомогою різного виду шпонкових з'єднань. Тому розроблення та створення обладнання для експериментального дослідження статичних та динамічних характеристик напівпружних і пружних шпонкових з'єднань, що використовуються для з'єднання зірочок, шківів, зубчастих коліс тощо, з валами під час передавання ними періодично змінного, ударного довго- і короткотривалого навантаження та значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму, є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одночасно з широковідомими з'єднаннями жорсткими шпонками [1] розроблені на рівні патентів напівпружні [2–4] та пружні [5–9] шпонки. Вони дозволяють змінювати жорсткість шпонкового з'єднання і м'якше передавати обертальний момент від вала до, наприклад, маточини зірочки або навпаки, тобто без ударів, що позитивно впливає на довговічність всієї ланцюгової передачі й привода в цілому.

Теоретичним питанням з'єднань пружними призматичними шпонками присвячені роботи [10–15] та інші. Однак проведені теоретичні дослідження потребують подальшого експериментального дослідження та підтвердження отриманих результатів у реальних практичних ситуаціях для різних режимів навантаження.

**Метою роботи** є процес розроблення обладнання для експериментального дослідження статичних і динамічних характеристик напівпружних та пружних шпонкових з'єднань під час передавання ними періодичного, ударного довго- і короткотривалого навантажень та їх значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму, без урахування і з урахуванням втрат енергії у них.

**Реалізація роботи.** Для приводів, до складу яких часто входять ланцюгові передачі, існує чотири характерних випадки зміни навантаження  $M_m$  виконавчого механізму, графіки яких зображені на рис. 1.

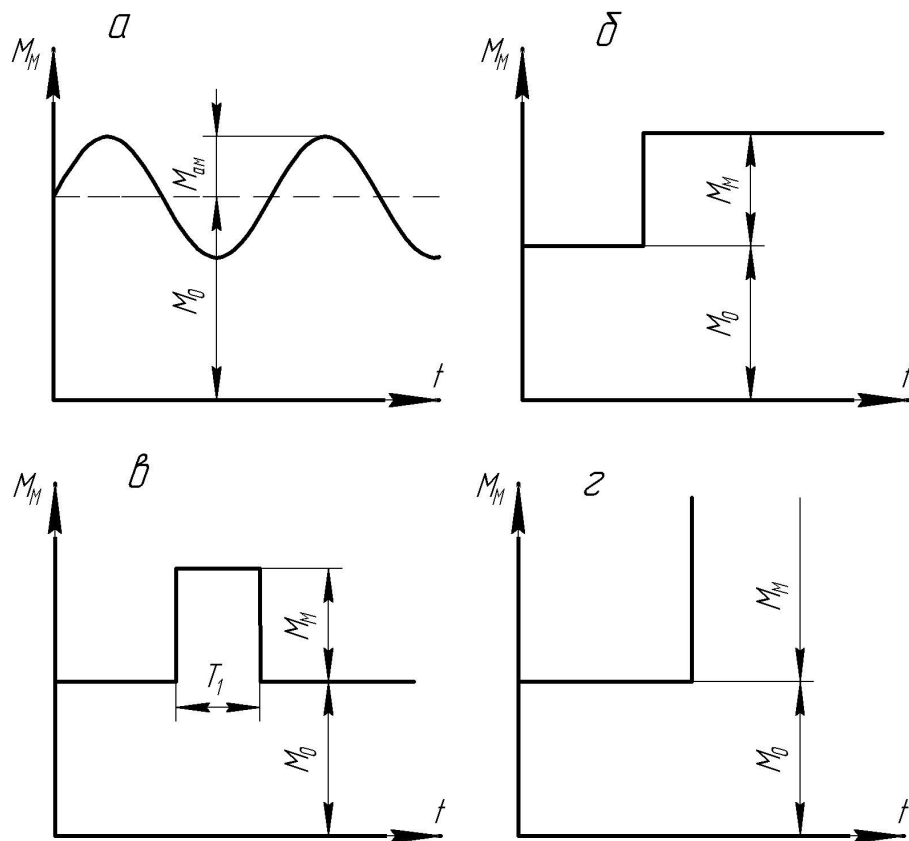


Рисунок 1. Графіки зміни навантаження:

- a* – навантаження змінюється періодично протягом тривалого часу;
- б* – величина ударного навантаження після різкого збільшення залишається незмінним протягом тривалого часу;
- в* – величина ударного навантаження після різкого збільшення зберігається протягом нетривалого часу;
- г* – виконавчий механізм миттєво зупиняється внаслідок значного перевантаження.

Для експериментального дослідження пружних шпонкових з'єднань розроблено стенд на основі патентів [16–18], який дозволяє реалізовувати чотири характерних випадки зміни навантаження  $M_m$  виконавчого механізму та виконати статичні дослідження.

Основною частиною стенда є шпонкове з'єднання 1, яке складається з нерухомого вала 2, навантажувальної втулки 3, підшипників 4 і 5, шайби 6, гайки 7 і шпонки 8. Нерухомий вал жорстко закріплений в опорі 9, яка складається з корпуса 10 і кришки 11, через квадратну хвостову ділянку за допомогою шпильок 12 і гайок 13. Для виключення деформації згину нерухомого вала встановлена знімна опора 14, у

різббовому отворі якої встановлений гвинт 15, який через конічний кінець 16 взаємодіє з центровим отвором 17 нерухомого вала. Навантажувальна втулка шпонкового з'єднання жорстко з'єднана з одним кінцем важеля 18 за допомогою зварювання, а над другим його кінцем розміщено спеціальне обладнання залежності від виду навантаження. Вимірювання деформацій і коливних явищ у шпонкових з'єднаннях для різних видів навантаження здійснюється через тензорезисторний давач 19, встановлений на нерухомому валу за методикою [19]. Шпонкове з'єднання разом з опорами встановлені на рамі 20. Для установки рами в горизонтальне положення служать ніжки 21 (рис. 2а і б).

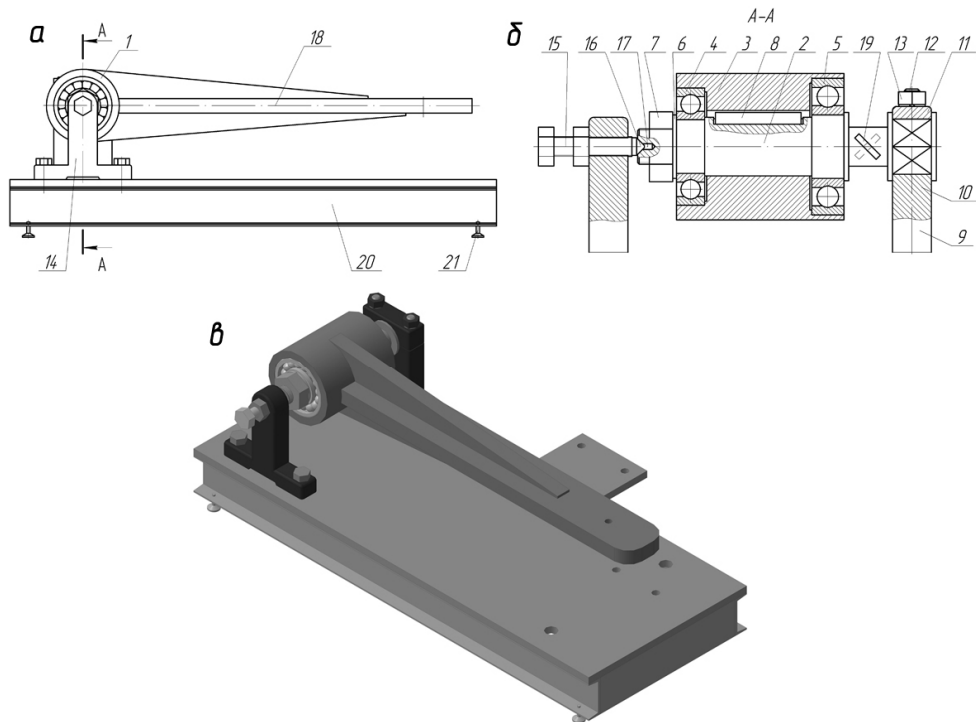


Рисунок 2. Стенд для дослідження шпонкових з'єднань: а – принципова схема; б – перетин А-А; в – загальний вигляд дослідної моделі

Під час випробувань шпонкового з'єднання у паз нерухомого вала встановлюють шпонку, яка може бути призматичною жорсткою, напівжорсткою, пружною та запобіжною. На нерухомий вал зі шпонкою встановлюють навантажувальну втулку з важелем, у якій виконано подібний паз, як і на нерухомому валу. У навантажувальній втулці встановлені підшипники з пресою посадкою, а з нерухомим валом вони утворюють посадку ковзання, близьку до перехідної. Це дозволяє легко встановлювати або знімати навантажувальну втулку, яку в осьовому напрямку закріплюють гайкою через шайбу. Після цього на раму встановлюють знімну опору та вгвинчують гвинт так, щоб його конічний кінець увійшов в контакт з центровим отвором нерухомого вала. Результатами експериментів є осцилограми, які записуються через тензорезисторний давач та за допомогою приставки здійснюється вихід на ПЕОМ.

Для збільшення наочності на рис. 2в зображено загальний вигляд дослідної моделі.

Під час досліджень шпонкових з'єднань, навантаження яких змінюється періодично протягом тривалого часу, на стенді над вільним кінцем важеля на рамі встановлюється додаткове обладнання, яке складається з електродвигуна 22, клинопасової передачі 23, опори з валом 24 і кулачка 25, який через регулювальний гвинт 26 взаємодіє з важелем 18 (рис. 3).

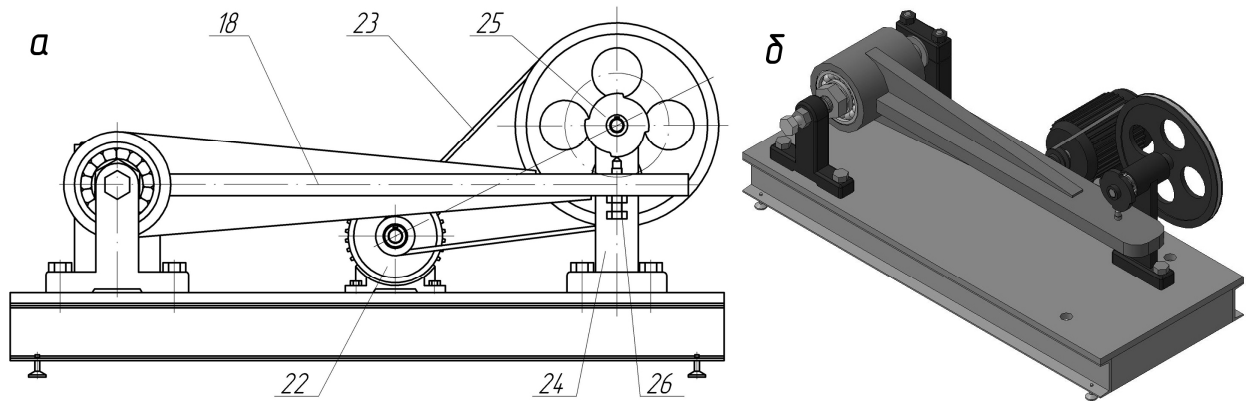


Рисунок 3. Стенд з обладнанням для навантаження, яке змінюється періодично: а – схема; б – загальний вигляд дослідної моделі

Дослідження шпонкового з'єднання для такого випадку виконуємо так. За допомогою регулювального гвинта, який має дотикатися до кулачка, регулюємо відхилення важеля. Вмикаємо електродвигун і через пасову передачу приводим в обертний рух профільний кулачок, який через регулювальний гвинт взаємодіє з важелем і відхиляє його від початкового положення та деформує шпонкове з'єднання.

Для виконання дослідження шпонкових з'єднань, навантаження яких після різкого збільшення залишається незмінним протягом тривалого часу, над другим кінцем важеля розміщено копровий пристрій 22 (рис. 4), який складається з падаючого вантажу 23, встановленого на вертикально рухомій каретці 24, що взаємодіє з направляючими 25, закріпленими на рамі. Максимальна маса падаючого вантажу дорівнює 50 кг. Рухомою кареткою утримується за допомогою зачепа 26, встановленого на поперечині 27 у верхньому положенні.

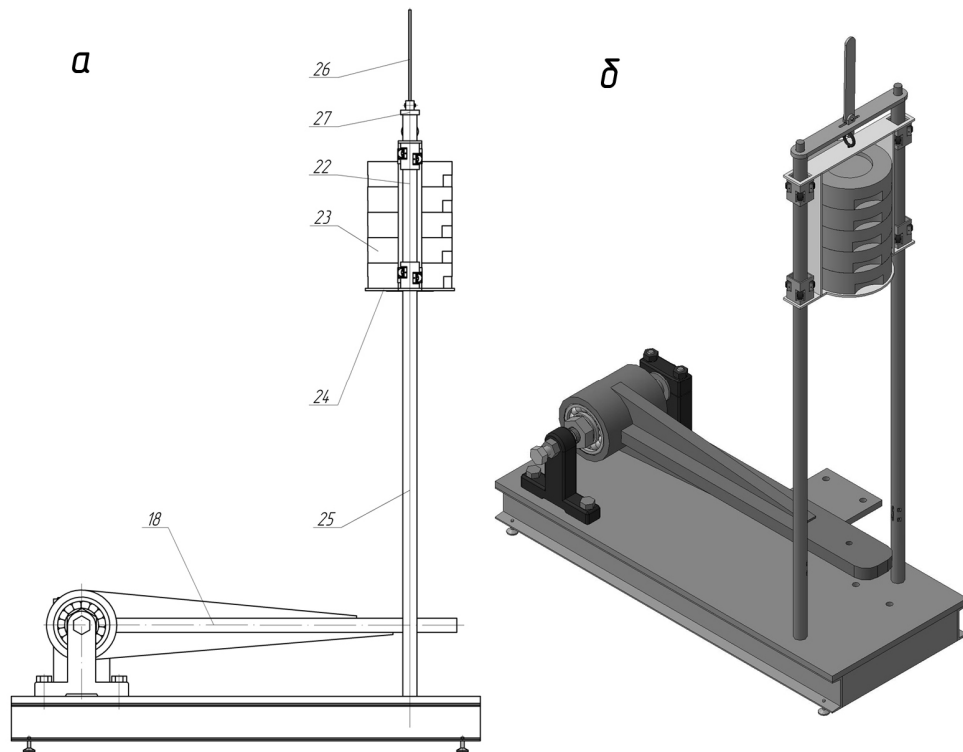


Рисунок 4. Стенд з обладнанням, коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним протягом тривалого часу: а – кінематична схема; б – загальний вигляд дослідної моделі

Підготовка стенда до дослідів полягає в його налагодженні, що включає в себе закріплення, перевірку необхідної вимірювальної апаратури та встановлення падаючого вантажу на зафіксованій висоті  $H$ .

Дослідження виконуємо так. Рухому каретку звільняємо від зачепа і падаючий вантаж падає на важіль, створює динамічне його навантаження, яке передається на шпонкове з'єднання. У цьому випадку рухома каретка з падаючим вантажем залишається на важелі.

Для виконання дослідження шпонкових з'єднань для випадку, коли навантаження яких після різкого збільшення залишається незмінним протягом нетривалого часу, стенд обладнано додатковими пружинами 28 і защіпками 29 (рис. 5).

Під час налагодження стенда вертикально рухомі пружини стискають і фіксують защіпками. Стенд для випробувань шпонкового з'єднання підготовлено до роботи.

Дослідження шпонкового з'єднання виконуємо таким чином. Рухому каретку звільняємо від зачепа, падаючий вантаж падає на важіль і створює динамічне навантаження, яке передається на шпонкове з'єднання. Одночасно під час удару по важелю рухома каретка з падаючим вантажем взаємодіє з защіпками, звільняючи стиснені вертикально рухомі пружини, які, розправляючись, піднімають догори вертикально рухома каретку з падаючим вантажем.

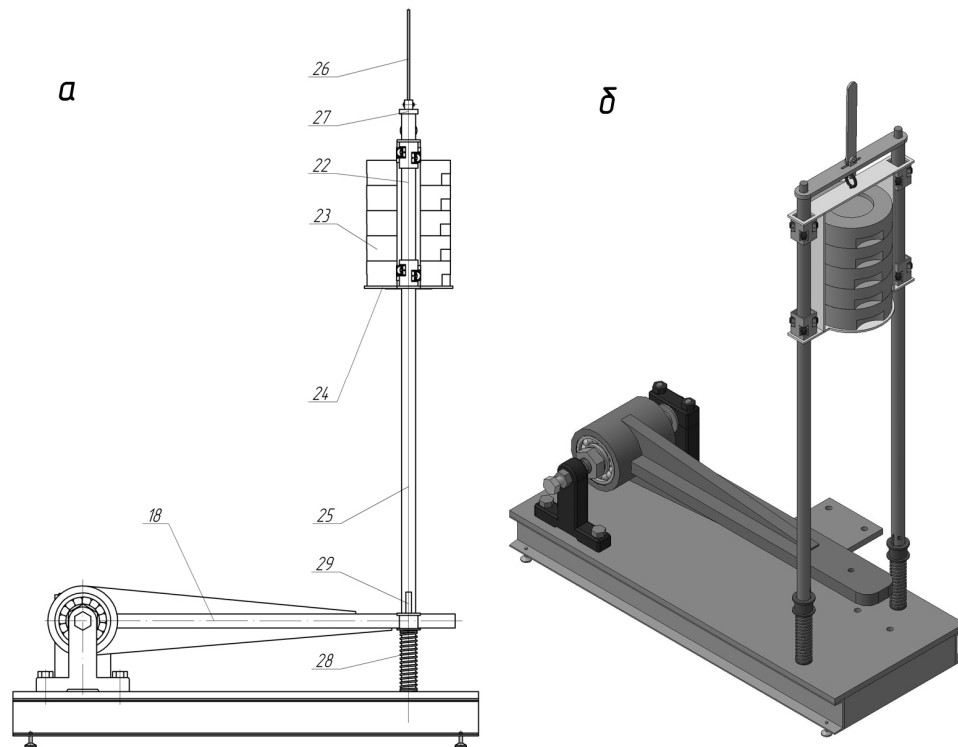


Рисунок 5. Стенд з обладнанням, коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним протягом нетривалого часу: а – кінематична схема; б – загальний вигляд дослідної моделі

Для розшифрування отриманих осцилограм використовували дані калібрування тензорезисторного давача на обладнанні, де над другим кінцем важеля на рамі розміщені вертикальні стояки 22 з поперечиною 23, в різьбовому отворі якої встановлено гвинт 24, який через динамометр 25 марки ДОС 200 взаємодіє з важелем 18. Гвинт приводиться в рух маховиком 27 (рис. 6).

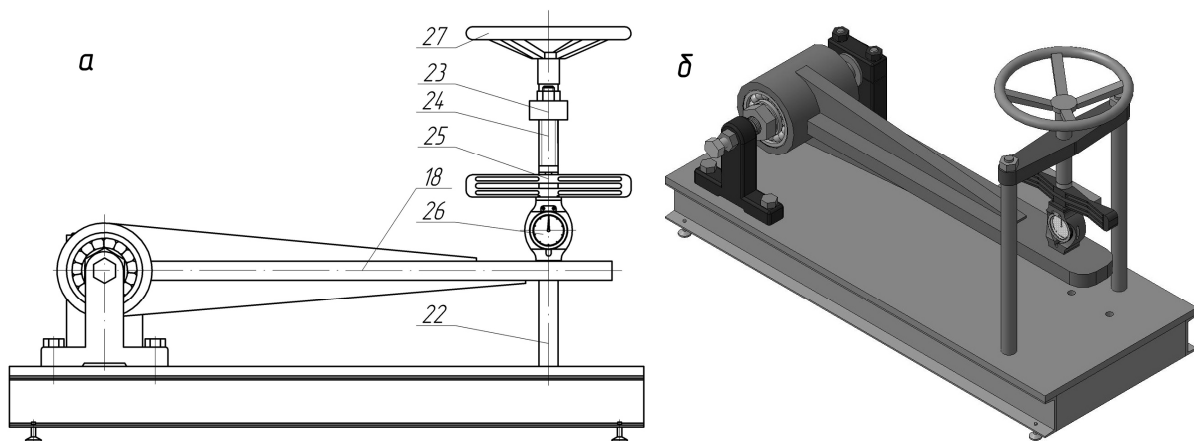


Рисунок 6. Стенд з обладнанням для статичних досліджень і калібрування тензорезисторного давача: а – схема механізму калібрування давачів; б – загальний вигляд дослідної моделі

**Висновки.** Розроблене і виготовлене обладнання для експериментального дослідження статичних і динамічних характеристик пружних шпонкових з'єднань забезпечує перевірку отриманих теоретичних результатів і дозволяє уточнення властивостей пружних шпонкових з'єднань деталей приводів під час передавання ними

періодично змінного, ударного довго- і короткотривалого навантаження та значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму. Робота є вагомим підґрунтям для проведення дослідів з навантажувальної здатності пружних шпонкових з'єднань різних деталей машин, у тому числі маточин зірочок ланцюгових передач з валами для різноманітних галузей машинобудування.

### **Список використаної літератури**

1. Малащенко, В.О. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків [Текст] / В.О. Малащенко, В.Т. Павлице. – Львів: Новий Світ-2000, 2011. – 216с.
2. Пат. 47272 Україна, МПК F 16 В 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В.О., Стрілець О.Р., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200907619; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. №2, 2010р.
3. Пат. 47273 Україна, МПК F 16 В 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В.О., Стрілець О.Р., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200907625; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. №2, 2010р.
4. Пат. 47279 Україна, МПК F 16 В 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В.О., Стрілець О.Р., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200907719; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. №2, 2010р.
5. Пат. 52014 Україна, МПК F 16 В 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№201001578; заявл. 15.02.10; опубл. 10.08.10, Бюл. №15, 2010р.
6. Пат. 56071 Україна, МПК F 16 В 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№201007432; заявл. 14.06.10; опубл. 27.12.10, Бюл. №24, 2010р.
7. Пат. 56666 Україна, МПК F 16 В 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№201007393; заявл. 14.06.10; опубл. 25.01.11, Бюл. №2, 2011р.
8. Пат. 61951 Україна, МПК F 16 В 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – u№201014574; заявл. 06.12.10; опубл. 10.08.11, Бюл. №15, 2011р.
9. Пат. 62872, Україна, МПК F 16 В 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – u№201014575; заявл. 06.12.10; опубл. 26.09.11, Бюл. №18, 2011р.
10. Малащенко, В.О. Обґрунтування нової класифікації шпонкових з'єднань [Текст] / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ: 2009. – № 4. – С. 124–130.
11. Малащенко, В.О. Навантажувальна здатність пружних шпонкових з'єднань типу вал-маточина [Текст] / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2010, № 26. – С. 65–71.
12. Малащенко, В.О. Обґрунтування кінематико-силових параметрів з'єднань з пружними шпонками [Текст] / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // MOTROL Motorization and power industry in agricultur. – Tom 12 В. – Lublin, 2010. – С. 145–152.
13. Малащенко, В.О. Динамічні характеристики пружних шпонкових з'єднань типу вал – маточина [Текст] / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2011, № 28. – С. 92–99.
14. Малащенко, В.О. Навантаження та деформації призматичних шпонок з пружними вставками [Текст] / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. „Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”. – Львів: НУ „Львівська політехніка”. – 2011, №701. – С. 69–74.

15. Малащенко, В.О. Підвищення навантажувальної здатності пружних призматичних шпонок [Текст] / В.О. Малащенко, В.М. Стрілець, О.Р. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. –Дніпропетровськ, 2011, № 1. – С. 79–88.
16. Пат. 2094763 Россия, МПК G 01 M 13/00. Стенд для испытаний упругих призматических шпонок [Текст] / Стрелец В.Н.; заявитель и обладатель патента Стрелец Владимир Николаевич. – №5004124/28; заявл. 07.08.91; опубл. 27.10.97, Бюл. №30, 1997г.
17. Пат. 62303А Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для випробувань пружних призматичних шпонок [Текст] / Стрілець В.М., Костюк О.П., Панчук Р.Т.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – №200312119; заявл. 03.03.03; опубл. 15.12.03, Бюл. №12, 2003р.
18. Пат. 50704 Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для дослідження пружних шпонкових з'єднань [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200912119; заявл. 25.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. №12, 2010р.
19. Методика експериментальних досліджень роботи механічних систем [Текст] / Р.В. Зінько, І.С. Лозовий, М.І. Черевко, Ю.М. Черевко: методичний посібник. – Львів: ЛІСВ, 2009. – 160 с.

*Отримано 28.11.2011*