

УДК 621.01

**Стрілець О. Р.**, аспірант (Національний університет «Львівська політехніка»), асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Описується комп'ютерна побудова в системі Компас-3D трьохмірних моделей на прикладі стенда для експериментальних досліджень статичних і динамічних властивостей шпонкових з'єднань. Робиться висновок, що використання комп'ютерного моделювання при проектуванні машинобудівних конструкцій дозволяє збільшити число можливих варіантів проектних рішень, які потрібно детально та глибоко проаналізувати і вибрати раціональний.

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, деталі машин, проектування.

Описано компьютерное построение в системе Компас-3D трехмерных моделей на примере стенда для экспериментальных исследований статических и динамических властивостей шпоночных соединений. Сделаны выводы, что использование компьютерного моделирования при проектировании машиностроительных конструкций позволяет увеличить число возможных вариантов проектных решений, которые необходимо детально и глубоко проанализировать и выбрать рациональный.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, детали машин, проектирование.

The construction of dimensional computer models in the Compass-3D application on the example of stand for experimental studies of key connections static and dynamic properties is described. It is concluded that the use of computer modeling in designing of engineering structures allows to increase the number of possible design options for detailed and deep analysis and rational choice.

**Keywords:** computer modeling, machine parts, designing.

**Постановка проблеми.** Для експериментального дослідження статичних та динамічних властивостей пружних шпонкових з'єднань, що використовуються для з'єднання шківів, зірочок, зубчастих коліс, тощо, з валами, під час передачі ними періодично змінного, ударного довго- і короткотривалого навантаження та значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механі-

зму необхідно розробити та виготовити спеціальний стенд.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На рівні патентів [1...5] розроблені пружні шпонки і [6...9] розроблений стенд для експериментального дослідження статичних та динамічних властивостей пружних шпонкових з'єднань. Він дозволяє досліджувати шпонкові з'єднання при передачі ними періодично змінного, ударного довго- і короткотривалого навантаження та значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму. У роботі [10] описане застосування комп'ютерного моделювання при розробці конструкцій пружних шпонок.

**Метою роботи** є процес створення стенду для експериментального дослідження статичних та динамічних властивостей пружних шпонкових з'єднань, що використовуються для з'єднання шківів, зірочок, зубчастих коліс, тощо, з валами, під час передачі ними періодично змінного, ударного довго- і короткотривалого навантаження та значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму. Першим етапом створення стенду є його моделювання, а потім виготовлення.

**Реалізація роботи.** В даній роботі розглядається комп'ютерна побудова в системі КОМПАС – 3D, [11], трьохмірних моделей на прикладі стенда для експериментальних досліджень статичних і динамічних властивостей шпонкових з'єднань. Формувати твердотілі моделі в системі КОМПАС-3D можна в двох типах документів: КОМПАС – Деталь і КОМПАС – Зборка. У відмінності від графічних документів – креслень, обоє типи трьохмірних документів рівноцінні між собою, серед них немає головних або допоміжних. Документ „Деталь” призначений для створення за допомогою формуютьорюючих операцій і зберігання моделі цілісного об'єкта – простого виробу, окремої деталі. Або, на прикладі підшипника кочення, який складається з декількох деталей, подати трьохмірну модель, як єдину деталь, яку зручно використати в складальній одиниці. У документі „Зборка” збираються в єдину складальну одиницю змодельовані та збережені раніше деталі, які з початку розміщують у просторі, сполучають разом і фіксують. Частина формуютьорюючих операцій, які є у деталі, присутні і в зборці. Це операції вирізів, формування перетинів, масивів і створення отворів, а також всі операції по створенню допоміжної геометрії. Починаючи з системи КОМПАС-3D V8 Plus, можна створювати декілька незв'язаних одне з другим твердих тіл в одній деталі. Такий підхід отримав назву багатотілого моделювання, яке дозволяє створювати моделі „з різних сторін”.

Схема основної загальної частини запатентованих стендів для експериментального дослідження статичних та динамічних властивостей пружних шпонкових з'єднань показані на рис. 1, в якій 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 корпусу 10 і кришки 11, через квадратну хвостову ділян-

ку за допомогою шпильок 12 і гайок 13. Для виключення деформації згину нерухомого вала встановлена знімна опора 14, у різьбовому 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 розміщується спеціальне обладнання в залежності від виду навантаження. Вимірювання деформацій і коливних явищ у шпонкових з'єднаннях для різних видів навантаження здійснюється через тензорезисторний давач 19. Шпонкове з'єднання разом з опорами встановлені на рамі 20. Для установки рами в горизонтальне положення служать ніжки 21.

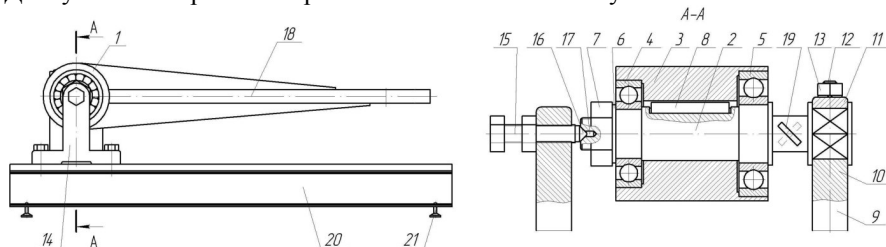


Рис. 1. Схема загальної частини стенду для дослідження шпонкових з'єднань

Даний стенд дозволяє досліджувати шпонкові з'єднання, на які діють різні типи навантаження. Для цього використовується додаткове знімне обладнання.

Під час досліджень шпонкових з'єднань, навантаження яких змінюється періодично впродовж 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 регульовальний гвинт 26 взаємодіє з важелем 18 (рис. 2).

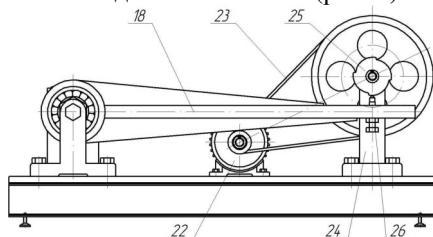


Рис. 2. Стенд з обладнанням для навантаження, яке змінюється періодично

Для виконання дослідження шпонкових з'єднань, навантаження яких після різкого збільшення залишається незмінним впродовж тривалого часу, над другим кінцем важеля розміщений копровий пристрій 22 (рис. 3, а), 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. Рухома каретка утримується

за допомогою зачепа 26, встановленого на поперечині 27 у верхньому положенні.

Для виконання дослідження шпонкових з'єднань для випадку, коли навантаження яких після різкого збільшення залишається незмінним впродовж малого часу, стенд обладнано додатковими пружинами 28 і защіпками 29 (рис. 3, б).

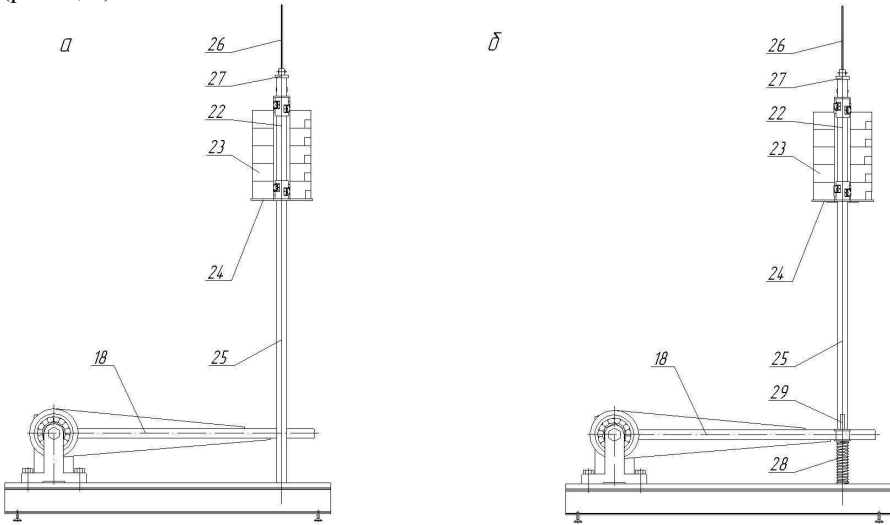


Рис. 3. Стенд з обладнанням коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним:  
**а** – впродовж тривалого часу; **б** – впродовж малого часу

Для розшифровки отриманих осцилограм використовувалися дані калібрування тензорезисторного давача на обладнанні, де над другим кінцем важеля на рамі розміщені вертикальні стояки 22 з поперечиною 23 в різьбовому отворі якої встановлений гвинт 24, який через динамометр 25 марки ДОС 200 взаємодіє з важелем 18. Гвинт приводиться в рух маховиком 27 (рис. 4).

Принцип дії експериментальної установки описаний в [6...9]. В даній роботі зупинимося саме на створенні комп'ютерної моделі.

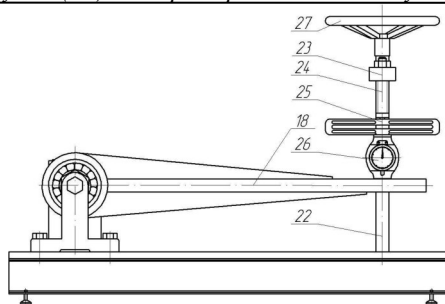


Рис. 4. Стенд з обладнанням для статичних досліджень і калібрування тензорезисторного давача

Виконання побудови трьохмірної моделі обладнання для експериментального дослідження статичних і динамічних характеристик пружних шпонкових з'єднань показуємо на прикладі схеми показаної на рис. 2. Вибраний спосіб побудови – знизу вгору, тобто з початку створюються по черзі всі моделі деталей, які входять до складу стенду (рис. 5, а), після чого збирають їх у зборку (рис. 5, б). Перед початком роботи створюється окрема папка в якій зберігаються моделі деталей і сам файл зборки.

Розробка трьохмірних моделей – це творчий процес в якому одну і ту ж модель можна побудувати різними способами та в іншому порядку, використовуючи різні можливості програми Компас 3D. Починаємо зі створення моделі нерухомого вала, але це необов'язково.

Побудувати вал можна кількома способами. Спочатку, наприклад, створити заготовку, використовуючи операцію обертання поздовжнього перетину навколо осі вала чи витисканням поперечного перетину. Далі необхідні ступені можуть бути утворені операцією вирізання. Даний спосіб подібний до реального технологічного процесу виготовлення вала. Проте більш легким в побудові є використання операції обертання до поперечного перерізу східчастого вала, який ми можемо взяти з готового креслення деталі. В такому випадку додаткових операцій більше не потрібно. Недоліком цього способу є ускладнення можливості редагування розмірів окремих частин вала. Так, якщо виникне необхідність подовжити одну зі сходинок, чи змінити її діаметр, потрібно перебудувати весь ескіз поперечного перетину. А коли деталь уже знаходиться у зборці, така маніпуляція може пошкодити існуючі прив'язки, через втрату площини спряження. Крім того вал, який потрібно побудувати у нашому прикладі має ділянку прямокутного поперечного перетину, яку операцією обертання створити неможливо. Тому доцільним є застосування ще одного способу побудови – витискання кожної сходинки вала окремо. Таким чином, для зміни діаметра вала достатньо буде просто змінити діаметр кола в ескізі, а для зміни довжини сходинки – внести необхідну величину в графу

«На відстань», виконавши команду контекстного меню – «Редагувати операцію витискання». На інші ділянки вала описані дії не вплинуть. Отже, використовуючи наведені способи побудови, або комбінуючи їх, можна легко отримати попередній вигляд моделі вала. Більшість валів, що використовуються в машинобудуванні можуть містити на собі такі конструктивні елементи як різьби, шпонкові пази, шліци, отвори і т.д. Щоб утворити їх на моделі, використовуються вже відомі нам операції вирізання та команди допоміжної геометрії.

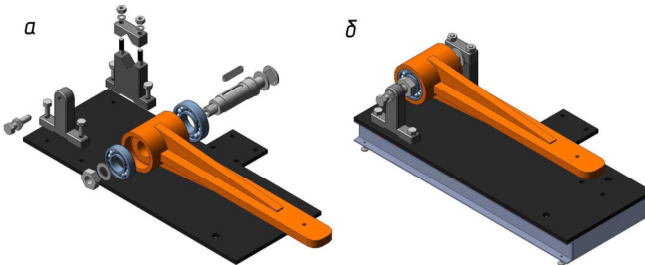


Рис. 5. Модель стенду для дослідження шпонкових з'єднань у розібраному та зібраному виглядах

За допомогою аналогічних операцій моделюємо важіль, знімні опори та регульовальний гвинт. Підшипники кочення, шпонки, шпильки, болти, гайки, шайби також можна змоделювати, проте для зручності новіші версії програми Компас 3D мають спеціалізовані бібліотеки стандартних виробів звідки можна вибрати більшість необхідних у проектуванні деталей, що занесені до державних стандартів. Слід зазначити, що у програмі також передбачено створення бібліотек самим користувачем, тобто якщо якась із створених деталей планується використовуватись і в подальшому, то для зручності отримання доступу її можна помістити у спеціально створену бібліотеку і навіть присвоїти їй деякі можливості параметризації, використовуючи вбудовані в Компас 3D підпрограми.

Створивши усі необхідні для збирання деталі можемо виконати модель зборки загальної частини стенда, показану на рис. 5, б. Для цього створюємо окремий файл зборки, куди вставляємо вже готові деталі. Збираючи стенд, необхідно керуватись тими ж міркуваннями, якими б керувався на виробництві інженер, що мав би справу зі збиранням уже реально виготовлених виробів. Отже, у нашому випадку спочатку потрібно на вал напресувати більший підшипник та вставити шпонку, а утворене з'єднання вставити у важіль. Далі напресувати менший підшипник, та зафіксувати його за допомогою шайби та гайки. Отримане з'єднання встановлюємо на опори, попередньо сполучені болтами з плитою, та фіксуємо. Плита встановлюється на звареній рамі з регулюючими ніжками.

При комп'ютерному моделюванні процесу збирання, технологічні операції замінюються командами спряження. Правильно зв'язавши між собою деталі, ми отримаємо модель станда, візуально аналогічну реальному. При цьому вона матиме змогу відображати функції, рухи ланок та обмеження цих рухів. Важливо пам'ятати, що у процесі збирання потрібно використовувати тільки найнеобхідніші спряження, які не замінюють одне одного, і контролювати їх сумісність. Так, при утворенні, наприклад, з'єднання вал-підшипник, достатньо зв'язати ці дві деталі спряженням їх співвісності та приляганням торцевих поверхонь внутрішнього кільця та бортика вала. Додаткові спряження, наприклад прилягання контактуючих поверхонь вала та отвору під вал підшипника, є зайвими, і можуть бути використані хіба що для перевірки точності побудови моделі. Зловживання спряженнями може призвести до обмеження рухомості ланок, а якщо на якомусь етапі моделювання виникне необхідність розібрати з'єднання, нагромадження дерева побудови непотрібними спряженнями ускладнить це завдання.

Отже, правильно накладаючи на з'єднання деталей відповідні спряження (прилягання, паралельність, співвісність тощо), отримуємо модель нашого станду у зібраному вигляді. Далі, відповідно описаному вище, моделюємо деталі обладнання для створення різних видів навантаження. Так, використавши креслення на рис. 2 отримаємо моделі деталей обладнання для навантаження, яке змінюється періодично. Тут доцільно вставляти отримані моделі деталей у вже готову зборку станду не окремо, а як створену в окремому файлі зборки складальну одиницю. Варто підмітити, що будь які зміни у окремих деталях, чи зборках, що входять у нашу модель автоматично в ній відображаються. Особливо це зручно, коли зборка містить багато однотипних деталей, створених копіюванням однієї, наприклад, у нашому випадку – болтів. Тоді змінивши параметри однієї деталі, вони автоматично присвоюються усім дочірнім деталям у збірці.

Остаточний результат побудови моделі станда з обладнанням для навантаження, яке змінюється періодично, показаний на рис. 6.

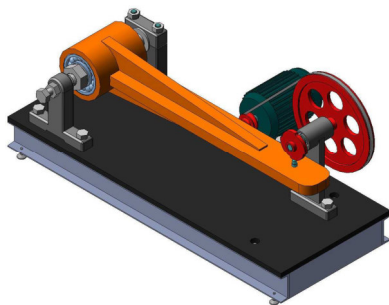


Рис. 6. Модель станда з обладнанням для навантаження, яке змінюється періодично

Для побудови моделі стенда з обладнанням коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним впродовж тривалого часу використано рис. 3, *а*. Подібно попередньому випадку достатньо змодельовані деталі окремо з'єднати у складальну одиницю і тоді вже приєднати її до готової моделі стенда (рис. 7, *а*).

Моделюючи стенд з обладнанням, коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним впродовж малого часу (рис. 3, *б*), врахувавши конструкційну подібність його до стенду на рис. 3, *а*, достатньо внести лише кілька змін у файл зборки попереднього обладнання – створити у стояках пази під защепи, а також змодельувати вказані защепи та пружини та додати їх до зборки. Модель стенда «оновиться» автоматично (рис. 7, *б*). Щоб повернутися до попереднього варіанту обладнання достатньо приховати додаткові елементи та виключити з розрахунку операцію вирізання пазу, скориставшись відповідними командами контекстного меню деталей.

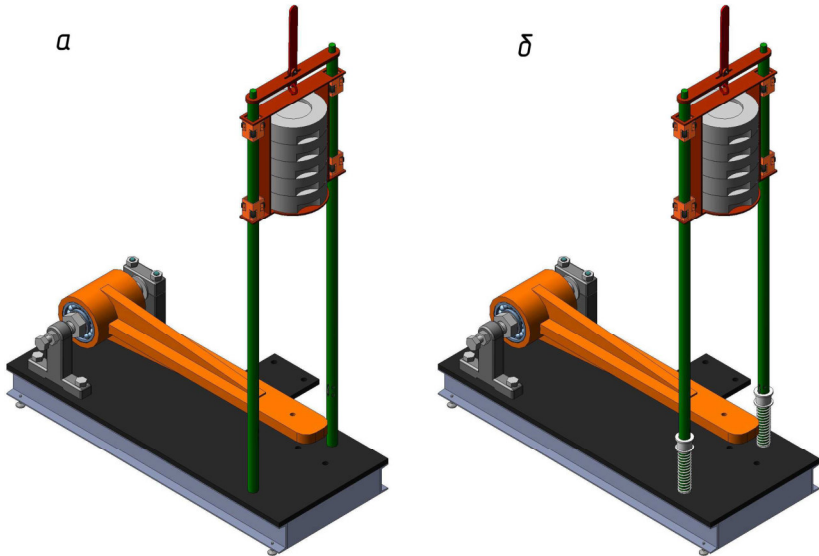


Рис. 7. Модель стенда з обладнанням, коли навантаження після різкого збільшення залишається незмінним:

*а* – впродовж тривалого часу; *б* – впродовж малого часу

Модель стенда з обладнанням для статичних досліджень і калібрування тензорезисторного давача будується аналогічно попереднім і показана на рис. 8.



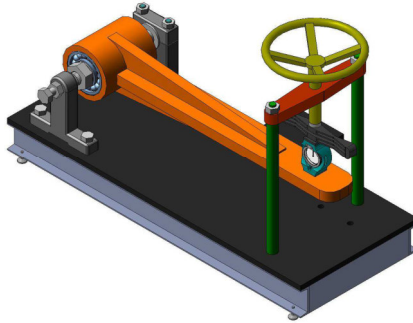


Рис. 8. Модель стенда з обладнанням для статичних досліджень і калібрування тензорезисторного давача

На основі креслень та даних комп'ютерних моделей був виготовлений універсальний стенд, до якого можна приєднати усі чотири види обладнання. Для прикладу на рис. 9 показана модель стенду (рис. 6) та виготовлений на її основі стенд, що, як бачимо, візуально не відрізняється від моделі.

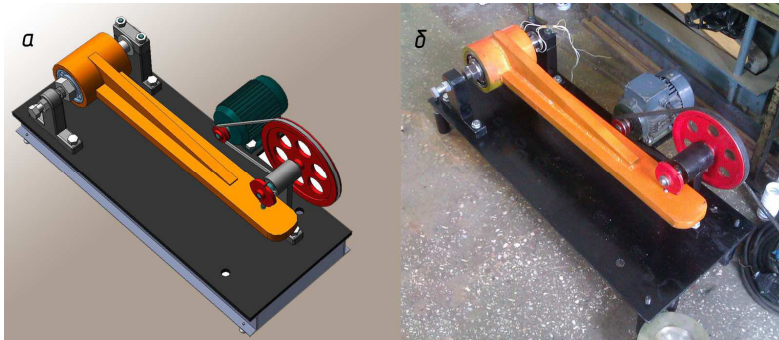


Рис. 9. Комп'ютерна модель та вигляд готового стенда з обладнанням для дослідження шпонкових з'єднань

**Висновки.** Використання комп'ютерного моделювання при проектуванні деталей машин дозволяє зробити наступні висновки:

- на початковій стадії проектування отримати візуальне уявлення про виріб, оглянути його з любой точки;
- підвищувати точність проектування особливо складних (зібраних) виробів;
- легко редагувати трьохмірні моделі, тобто вносити необхідні зміни;
- досягати великої економії часу і витрат на проектування;

- отримати велике число можливих варіантів проектних рішень, які потрібно детально та глибоко проаналізувати і вибрати раціональний.

1. Пат. 52014 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201001578; заявл. 15.02.10; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15, 2010 р. 2. Пат. 56071 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201007432; заявл. 14.06.10; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24, 2010 р. 3. Пат. 56666 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у №201007393; заявл. 14.06.10; опубл. 25.01.11, Бюл. № 2, 2011р. 4. Пат. 61951 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – у № 201014574; заявл. 06.12.10; опубл. 10.08.11, Бюл. № 15, 2011 р. 5. Пат. 62872, Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – у № 201014575; заявл. 06.12.10; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18, 2011 р. 6. Пат. 2094763 Россия, МПК G 01 M 13/00. Стенд для испытаний упругих призматических шпонок / Стрелец В. Н.; заявитель и обладатель патента Стрелец Владимир Николаевич. – №5004124/28; заявл. 07.08.91; опубл. 27.10.97, Бюл. № 30, 1997 г. 7. Пат. 62303A Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для випробувань пружних призматичних шпонок / 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, 2003 р. 8. 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.–у № 200912119; заявл. 25.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12, 2010 р. 9. Пат. 68123 Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для дослідження шпонкових з'єднань / Стрілець О.Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201111929; заявл. 11.10.11 р; опубл. 12.03.12, Бюл. № 8, 2012р. 10. Стрілець О. Р. Використання комп'ютерного моделювання при розробці конструкцій пружних шпонок [Текст] / О. Р. Стрілець // Збірник тез четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси». – К. : НАУ, 23 – 25 травня 2011 р. – С. 356-358. 11. Кидрук М. И. Компас – 3D V9. Учебный курс [Текст] / М. И. Кидрук. – СПб. : Питер, 2007. – 496 с.

Рецензент: д.т.н., доцент Науменко Ю. В. (НУВГП)