

### **Розробка компактної випробувальної розривної машини**

*Робота присвячена розробці та вдосконаленню компактної випробувальної розривної машини із зусиллям до 50 кг з метою легкої, швидкої та дешевої перевірки механічних властивостей деталей, що виготовлені за допомогою технології 3D друку і можуть використовуватися при виготовленні дронів або інших механізмів.*

**Вступ.** Останнім часом в світі все більшого поширення набувають технології 3D друку, які дозволяють легко, швидко та відносно дешево отримувати деталі достатньо складних форм та конфігурацій, що не завжди можна досягти класичними методами виготовлення. В Україні 3D друк має особливе значення внаслідок його широкого залучення у виробництво дронів. Однак виготовлені подібним способом деталі не завжди мають заявлені механічні характеристики, що є наслідком впливу і взаємодії ряду чинників, як то: використання різних принтерів, слайсерів, розкид параметрів друку та характеристик у різних виробників. Невідповідність реальних механічних характеристик деталей проєктним параметрам може становити загрозу для літального апарату або будь-якого іншого механізму, де вони будуть застосовані, внаслідок можливого руйнування від експлуатаційних навантажень, зменшення ресурсу та невідповідності показників надійності встановленим нормам. Це у свою чергу породжує потребу у перевірці згаданих властивостей деталей перед їх фактичним використанням. Однак замовлення повномасштабних лабораторних випробувань на відповідному обладнанні в умовах поштучного виробництва є надто довготривалим, дорогим, а відтак не ефективним та не доцільним. З іншого боку невеликі розміри поперечних перерізів деталей, про які йде мова, не вимагають створення значних зусиль для виникнення руйнівних напружень. Це означає, що вимірювання в межах 50 – 100 кг, проведених на машинах, розрахованих під зусилля 5 т і більше може містити значне відхилення внаслідок похибок. Вирішити зазначені проблеми могла б компактна, легка та дешева розривна машина, яку можна відносно легко переміщувати та використовувати від стандартних джерел живлення (на відміну від лабораторного обладнання, що потребує трифазної електричної мережі на 380V), або навіть без таких, від акумулятора. Розробці та вдосконаленню подібної машини і присвячена дана робота.

**Конструкція першого прототипу машини.** Перший прототип має типову конструкцію з рухомою і нерухомою траверсами та станиною, які виготовлялися з дерева (рис. 1, 1 – 3). У станині розміщено рушійний механізм – кроковий двигун, який з'єднаний з редуктором за допомогою прямозубої циліндричної зубчатої передачі, надрукованої на 3D принтері, з передатним числом 4 [1]. Приводом машини є пара гвинт-гайка, у якій гвинт нерухомий, а гайка рухома. Для закріплення зразка використовуються затискачі (рис. 1, 5),

також надруковані на 3D принтері. Вимірювання навантажень відбувається за допомогою електронних ваг (рис. 1, 4), які фіксуються на нерухомій траверсі та кріпляться до захвату зі зразком. На рухомій траверсі закріплений штангенциркуль (рис. 1, 6) для вимірювання її переміщень під час дослідів.

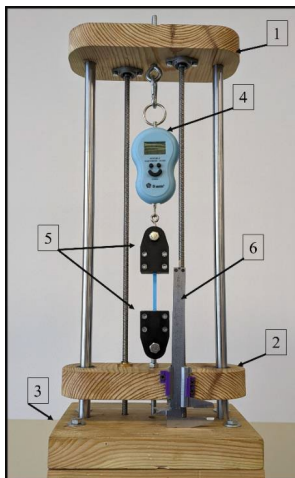


Рис. 1. Конструкція першого прототипу: 1 – нерухома траверса; 2 – рухома траверса; 3 – станина; 4 – ваги; 5 – захвати; 6 – штангенциркуль

Щоб верифікувати дані, отримані в ході дослідів і підтвердити точність та адекватність виконаних вимірювань, отриманих на створеній машині, було проведено серію тестів на зразках з PLA пластику, надрукованих на 3D принтері. Результати порівнювались із результатами, отриманими у випробувальній лабораторії кафедри конструкції літальних апаратів аерокосмічного факультету Національного авіаційного університету, на розривній машині BISS Bi-00-202V. Дані порівняння наведені в табл. 1.

#### **Недоліки першого прототипу**

Хоч випробувальна машина і відповідала поставленим вимогам, але мала ряд недоліків:

1. Виготовлені з дерева деталі мали невелику точність, що викликало велике тертя в системі;

2. Рухома і нерухома траверси та станина машини були достатньо великі за розмірами, що не лише збільшувало габарити, але і не дозволяло надрукувати їх на 3D принтері, що у свою чергу збільшувало масу конструкції;

3. Складність розміщення редуктора в станині призводила до значних навантажень в елементах конструкції машини та погіршувала експлуатаційні властивості;

4. Ваги займали значну частину робочої зони, що обмежувало можливі габарити випробуваних деталей.

Табл. 1

Результати дослідів проведених на розробленій машині та на BISS Vi-00-202V

№ Зразка	Межа міцності, МПа		MAX Переміщення траверси мм	
	BISS Vi-00-202V	Розроблена машина	BISS Vi-00-202V	Розроблена машина
1	51	54	4	5
2	47	52	4	5
3	52	53	5	5
4	54	52	5	5
Середнє	51	53	4	5
Похибка, %	3		4	

**Конструкція другого прототипу машини.** Другий прототип машини зазнав конструктивних змін з метою вдосконалення та розширення функціоналу. Приводом машини залишилась пара гвинт-гайка, але гвинт було зроблено рухомим, а гайку – нерухомою. Таке конструктивне рішення дозволило досягти зменшення розмірів обох траверс та станини машини, що також надало можливість надрукувати їх на 3D принтері. Це збільшило точність зазначених деталей, зменшило тертя в системі, зменшило габарити та масу. Також конструкція стала більш простою, з меншою кількістю комплектуючих (рис. 2). У станині розміщено рушійний механізм, який, разом із захватами змін не зазнали, порівняно з першим прототипом. Однак, в конструкцію додана опора, всередині якої рухається гвинт під час випробувань (рис. 2, б).

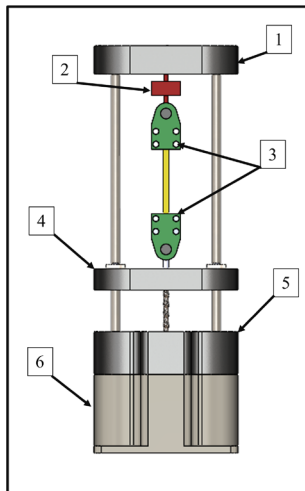


Рис. 2. Конструкція другого прототипу: 1 – нерухома траверса; 2 – силовимірвач; 3 – захвати; 4 – рухома траверса; 5 – станина; 6 – опора

Вимірювання навантаження відбувається силовим тензодатчиком, який за допомогою 24-розрядного модуля АЦП з підсилювачем для тензорезисторів та Arduino Nano дозволяє виводити дані на комп'ютер. Подібна конструкція силовимірювача крім вищої точності з можливістю її регулювання, також займає меншу частку робочої зони машини.

Вимірювання переміщення траверси відбувається через кількість кроків, зроблених двигуном, які надалі перераховуються в переміщення.

Можливість вимірювати навантаження та переміщення в реальному часі дозволяє отримати діаграму деформування, що у свою чергу розширює кількість основних механічних характеристик, котрі можна отримати та функціонал самої машини.

**Економічна ефективність.** Ціна виготовлення першого прототипу без урахування роботи складає менше ніж 5 тис. грн (приблизно 125 \$), а машина BISS Bi-00-202V на момент 2006 р. коштувала 127 тис. грн (приблизно 25 тис. \$), що з урахуванням інфляції на 22.04.2024 складає близько 1 млн. грн.

Отже, проведені дослідження показують, що можна отримати результати випробувань на рівні професійного лабораторного обладнання, але у 200 разів дешевше. Якщо навіть порівняти ціни з вітчизняним виробництвом – АСМА-ПРИЛАД, то найдешевша із знайдених розривна машина, коштує 100 тис. грн з максимальним навантаженням до 100 кг, що все одно у 20 разів дорожче.

Вартість другого прототипу, з урахуванням 3D друку є ще меншою і складає близько 3,5 тис. грн.

### **Висновки**

Розроблена компактна випробувальна розривна машина, що розвиває зусилля до 50 кг є достатньо мобільною та доступна для широкого кола користувачів через її низьку вартість і простоту. Завдяки цьому є можливість перевіряти механічні характеристики надрукованих на 3D принтері деталей, що підвищить їхню якість, адже робочі розміри та форма обиратимуться не на око, а на основі результатів випробувань. І незважаючи на те, що виготовлена машина зроблена з підручних матеріалів та без високоточного обладнання, вона дозволяє швидко та з високою точністю проводити вимірювання та отримувати механічні властивості матеріалу.

### **Список літератури**

1. І. І. Мархель Деталі машин: Навчальний посібник. – К.: Алерта, 2005. – 368 с.