

## УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ І РАКЕТ ПРИ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ НА МІЦНІСТЬ І ЖОРСТКІСТЬ

*Володимир Дудніков*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

*Валерій Ігнаткін*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3332-1105>

Міжрегіональна академія управління персоналом: Прикарпатський інститут імені Михайла Грушевського, Трускавець, Україна

### Вступ

Процес проектування та створення літальних апаратів і ракет складається із складного комплексу розрахункових та експериментальних досліджень. Необхідність обґрунтування міцності конструкції є одним із ключових завдань під час проведення сертифікації та введення в експлуатацію. Незважаючи на стрімкий розвиток розрахункових методів та зростання обчислювальних потужностей сучасних комп'ютерів, віртуальне моделювання навантаження не здатне передбачити всі особливості поведінки конструкції. Тому остаточним етапом у ході підготовки висновку про льотну придатність є повномасштабні статичні випробування дослідного зразка апарату. Досвідчені зразки виробів є дорогими, які ремонт займає тривалий час. Тому випробування є відповідальним процесом не лише з погляду моделювання реальних умов експлуатації, але й точності дотримання методології проведення експерименту, ризик здійснення помилки має бути зведений до мінімуму.

Одне з найважливіших завдань у тому, щоб запобігти передчасне незаплановане руйнація конструкції. Тому особливо важливим є постійний аналіз даних, що отримуються в ході експерименту, а також їх зіставлення з розрахунковою моделлю. При проектуванні застосовується розрахунково-експериментальний метод відпрацювання міцності, в основі якого лежить принцип тісного взаємозв'язку розрахункових та експериментальних технологій.

Для супроводу експериментальних досліджень готується розрахункова модель, де проводиться віртуальне моделювання майбутніх випробувань. При цьому виявляються найбільш навантажені області конструкції, а також критичні за міцністю та стійкістю елементи. Далі

відбувається складання та налагодження випробувального стенду, проводяться попередні навантаження конструкції, повіряється контрольно-вимірвальне обладнання, налагоджуються системи управління експериментом. Випробування здійснюються поетапно, від найменш небезпечних з погляду ризику руйнування виробу випадків навантаження до найбільш критичних. При цьому на всіх стадіях експериментального відпрацювання міцності конструкції необхідно безперервно контролювати її стан, щоб унеможливити виникнення передчасних руйнувань. За результатами випробувань проводиться аналіз даних, виконується валідація створених раніше розрахункових моделей. Удосконалена математична модель використовується щодо віртуального моделювання наступних випадків навантаження, надаючи цим достовірні дані. Таким чином, розрахунково-експериментальний підхід є безперервним і взаємопов'язаним процесом відпрацювання міцності.

### **Ціль і задача дослідження**

Розробити конструкцію універсального стенду для статичних випробувань на міцність і жорсткість оболонкових конструкцій натурних відсіків літальних апаратів і ракет.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Відомий універсальний стенд, що імітує випадок вантаження сухих відсіків ракет [1, с. 283-284]. Схема містить чотири гідроциліндри, один з яких розташований усередині відсіку по його осі і створює стискаюче зусилля, два інших розташовані за межами відсіку, консольно закріпленого на силовій залізобетонній підлозі, і прикріплені зустрічно одним кінцем до верхнього торця відсіку через технологічне кільце, створюючи пару сил, що вигинає відсік в площині їх розташування. У цій же площині розташований четвертий гідроциліндр, що створює перерізальну силу.

Оскільки гідроциліндри зазвичай експлуатують в режимі витягування штоків (для виключення втрати стійкості штоків і зростання опору їх переміщенню), то на цьому стенді неможливе реверсування (зміна напрямку) створюваного гідроциліндрами зусилля. Гідроциліндр, що створює стискаюче зусилля, не може бути розташований усередині бакового відсіку.

Відома також установка для комбінованого навантаження оболонок при випробуваннях на міцність і жорсткість, що містить основу, на якій консольно закріплена оболонка, що випробовується, чотири

навантажуючих пристрої, що шарнірно приєднані до основи та верхнього торця оболонки, розташовуючись при цьому попарно в двох пересічних площинах, однаково нахилених до основи [2, с. 120, рис. 3]. При усій універсальності такої схеми навантаження вона має наступні істотні недоліки:

- оскільки навантажуючі пристрої встановлені під кутом один до одного і до подовжньої вісі навантажуваної оболонки, то має місце не ефективне використання їх потужності. Дійсно, при куті між навантажуючими пристроями в  $90^\circ$  на розтягування-стискування оболонки передається тільки 70 % зусилля, що розвивається ними;

- в процесі створення того або іншого виду навантаження, навіть простого, постійно беруть участь усі чотири навантажуючі пристрої, від яких потрібно строга синхронність спрацьовування в часі. При чутливому зворотному зв'язку по зусиллю за рахунок взаємовпливу навантажуючих пристроїв, особливо при електромеханічному варіанті їх виконання і жорсткій навантажуваній оболонці, система управління не встигає відстежувати програму навантаження, з'являється перегулювання і автоколивання;

- схема навантаження забезпечує тільки постійне співвідношення між силовими чинниками при комбінованому навантаженні, що визначається первинними кутами між навантажуючими пристроями та оболонкою; зміна цього співвідношення під час навантаження неможлива, для цього необхідно міняти кути в процесі монтажу при підготовці випробувань. Це звужує технологічні можливості при імітації реальних умов навантаження конструкцій;

- установка не дозволяє робити комбіноване навантаження послідовно в часі. Наприклад, після розтягування не можна робити кручення, вигин, оскільки при цьому два з чотирьох навантажуючих пристроїв повинні змінити напрям зусилля, що розвивається, на протилежне, що можливо тільки після розвантаження від первинного зусилля, при цьому первинна величина розтягування не зберігається. Це не дозволяє імітувати черговість прикладення в часі реальних експлуатаційних навантажень до систем ракет;

- із-за постійного використання чотирьох взаємновпливаючих навантажуючих пристроїв система управління складна та ненадійна;

- у разі виходу з ладу навіть одного навантажуючого пристрою жоден вид простого навантаження не може бути реалізований.

Поставлено задачу підвищення економічності установки внаслідок ефективнішого використання потужності навантажуючих пристроїв і розширення можливостей в реалізації реальних умов навантаження конструкцій за рахунок забезпечення можливості зміни в часі співвідношення між силовими чинниками безпосередньо в ході

комбінованого навантаження, а також спрощення системи управління.

Поставлена задача вирішується тим, що в установці для комбінованого навантаження оболонки при випробуваннях на міцність і жорсткість, що містить основу, на якій консольно закріплена оболонка, що випробовується, чотири навантажуючих пристрої, що шарнірно приєднані до основи та верхнього торця оболонки, розташовуючись при цьому попарно в двох пересічних площинах, однаково нахилених до основи, згідно з корисною моделлю, між основою і оболонкою встановлено перехідник, який має нахилену під кутом  $45^\circ$  опорну поверхню під нижній торець оболонки, а площини розташування навантажуючих пристроїв до основи та оболонки розташовані так, що одна пара навантажуючих пристроїв розташована в площині, яка проходить через вісь оболонки, а інша пара - у перпендикулярній площині на рівні верхнього торця оболонки.

Суть технічного рішення пояснюється кресленнями. На рис. 1 показаний зовнішній вигляд установки. На рис. 2 показаний вигляд по стрілці А на рис. 1. На рис. 3 показаний вигляд по стрілці Б на рис. 1.

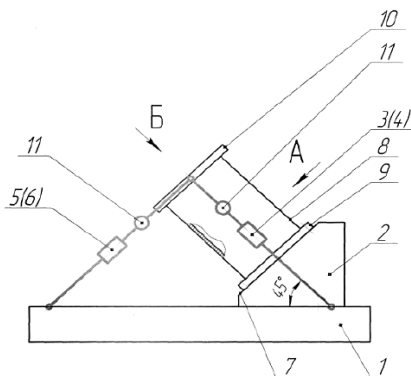


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд установки

Установка містить основу 1, перехідник 2, чотири навантажуючих пристрої 3, 4, 5, 6, виконаних, наприклад, у вигляді гідравлічних або електромеханічних домкратів, керованих 5 дистанційно за допомогою системи управління. Перехідник 2 має опорну поверхню 7, нахилену під кутом  $45^\circ$  до основи 1. Оболонка 8 за допомогою технологічного кільця 9 консольно закріплюється на поверхні 7 перехідника 2. Навантажуючі пристрої одним кінцем приєднуються шарнірно до основи 1, іншим кільцем до технологічного кільця 10 верхнього торця оболонки. Місця приєднання навантажуючих пристроїв до основи 1 і

оболонці 8 вибрані так, що одна пара 10 навантажуючих пристроїв 3, 4 розташовується в площині, що проходить через вісь нахиленої оболонки, а інша пара 5, 6 розташовується в іншій площині, перпендикулярній першій площині, на рівні верхнього торця оболонки.

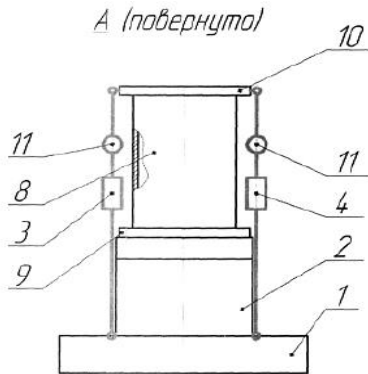
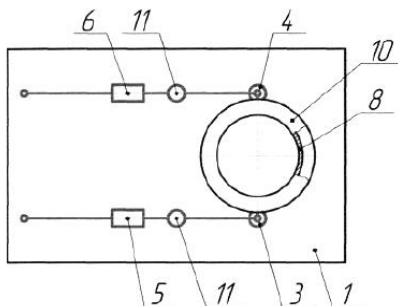


Рисунок 2 - Вид по стрільці А на рис. 1

Таким чином, площини розташування пар навантажуючих пристроїв перетинаються між собою під кутом  $90^\circ$ , при цьому кожна з площин утворює з основою 1 кут в  $45^\circ$ . Усі навантажуючі пристрої забезпечені силовимірвальними пристроями 15 11, які використовуються як датчики зворотного зв'язку в системі управління взаємодією навантажуючих пристроїв.

Установка працює наступним чином. По команді від системи управління навантажуючі пристрої включаються в роботу в певній послідовності або одночасно, створюючи зусилля того або іншого напрямку і величини. Розтягування-стискування оболонки 8 забезпечується синхронним спрацьовуванням навантажуючих пристроїв 3, 4, при цьому пристрої 5, 6 не створюють ніяких зусиль і тільки лише відстежують положення оболонки. Для вигину оболонки в площині розташування навантажуючих пристроїв 3, 4 останнім задаються протилежні по напрямку, але однакові за величиною, зусилля (чи переміщення). Один 25 з навантажуючих пристроїв працює на втягування штока, інший - на виштовхування, залежно від напрямку вигину.

Для вигину оболонки в перпендикулярному напрямку синхронно на втягуванні або виштовхуванні штоків працюють навантажуючі пристрої 5, 6. Якщо шток пристрою 5 втягується, а шток пристрою 6 виштовхується, то оболонка випробує закручування. При зміні напрямку переміщення штоків навантажуючих пристроїв 5, 6 оболонка 8 закручується в інший бік.

*Б (повернуто)***Рисунок 3 – Вид Б на рис. 1**

При розузгодженні в широких межах навантажуючих пристроїв 5, 6 за величиною і напрямом зусилля, що розвивається, оболонка випробовуватиме спільну дію вигину і кручення в ту або іншу сторону. При зміні співвідношення між величинами і напрямом зусиль пристроїв 3, 4 оболонка випробовуватиме позацентрове розтягування-стискування або спільну дію розтягування-стискування і вигину в ту або іншу сторону. Одночасна дія навантажуючих пристроїв 3, 4, 5, 6 забезпечує таке комбіноване вантаження як розтягування-стискування з крученням і вигином в двох взаємно перпендикулярних площинах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Комбіновані види навантаження можуть бути здійснені в двох незалежних етапах навантаження зі збереженням величини і напрямку попереднього знаку або одночасно. Оскільки чотири навантажуючі пристрої розбиті на дві пари, розташовані в двох взаємно перпендикулярних площинах, то ці пари можуть працювати незалежно один від одного. Це дозволяє зменшити взаємний вплив пристроїв на роботу один одного. Таким чином це спрощує програму і систему управління ними. Зменшується вірогідність перерегулювання і автоколивань, що дає можливість підвищити точність датчиків зворотного зв'язку системи управління.

Комбіноване навантаження конструкції може здійснюватися шляхом послідовних в часі етапів простих вантажень. Незалежність роботи пар навантажуючих пристроїв дозволяє безпосередньо в процесі навантаження міняти в широких межах співвідношення між

силовими чинниками комбінованого навантаження. Усе це разом дає можливість точніше імітувати в процесі випробувань черговість прикладення в часі реальних експлуатаційних навантажень.

Відмітною особливістю такої установки є можливість проведення усіх вказаних простих і комбінованих навантажень послідовно в часі на одній і тій же оболонці без перемонтажу установки. Установка дозволяє проводити випробування по одному з простих видів навантаження (розтягування - стискування, кручення, вигин) навіть у разі виходу з ладу одного або двох навантажуючих пристроїв шляхом швидкої їх заміни з перпендикулярної пари, значно підвищує ремонтно-спроможність і надійність установки, економить час і засоби на підготовку випробувань.

## **ВИСНОВКИ**

Ефективність розглянутої установки полягає в можливості на одній і тій же матеріальній частині проімітувати послідовно в часі різні розрахункові випадки експлуатаційного навантаження. Це, з одного боку, підвищує достовірність отриманої експериментальної інформації про напружено-деформований стан оболонкової конструкції і, з іншого боку, зменшує кількість виробів, що виділяються для експериментальної відробітки міцності і надійності, що зберігає матеріальні і фінансові засоби.

## **ПОСИЛАННЯ**

1. Грабин, Б. В., Давыдов, В. И., & Жихарев, В. И. (1991) Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов.
2. Ганенко, Б. И., & Аверин, Л. В. (1985) Система управления электромеханическими силовозбудителями. Расчет, конструирование и испытание машин в экстремальных условиях, 112-121.