

УДК 620.178.7.05:006.86.032

doi: 10.32620/aktt.2023.1.08

О. Ю. ЗЛАТКІН¹, О. В. ЧУМАЧЕНКО¹, І. В. КРИЖИВЕЦЬ¹,
О. В. ПЕТРОВ², Ю. І. ТОРБА²

¹ НВП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Харків, Україна

² ДП «ІВЧЕНКО-ПРОГРЕС», Запоріжжя, Україна

ШЛЯХИ АДАПТАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВИХОДЯЧИ З ВИМОГ СТАНДАРТУ MIL-STD-810

Предметом вивчення є процес проведення випробувань об'єктів загального використання, авіаційно-космічної галузі, залізничного транспорту, електроенергетики та атомної промисловості на вплив ударних навантажень. Метою є впровадження в практику випробувальних лабораторій сучасних міжнародних стандартів, зокрема MIL-STD-810. Завдання: вивчити можливість використання вібростендів у випробуванні на вплив ударів та провести модернізацію існуючого випробувального обладнання шляхом розробки нового програмного забезпечення для систем керування на основі існуючих і апробованих алгоритмів. Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз чинних нормативних документів та проведено адаптацію наявного досвіду у виконанні робіт з оцінки відповідності. Як результат, використовуючи технічні можливості випробувально-сертифікаційного центру НВП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, створено дослідницький стенд. Програмне забезпечення розроблено із застосуванням стандартних бібліотечних елементів зі складу SCADA-системи. Враховано можливості використання вібраційної установки при випробуванні на удар та впроваджено ітеративний режим управління ударом. Працездатність модернізованого таким чином випробувального обладнання була підтверджена шляхом верифікації у всьому діапазоні параметрів з позитивним результатом. Апробацію проведено в рамках реальних випробувань у різних режимах для складних об'єктів тестування. У даній роботі сформульовано пропозиції щодо розширення можливостей наявної лабораторно-випробувальної бази при впровадженні MIL-STD-810. Запропонований підхід розробки програмного забезпечення дозволяє тиражувати код у будь-які інші програмні середовища. Проведена порівняльна оцінка фінансово-часових витрат на закупівлю нового та модернізацію наявного обладнання підтверджує економічну доцільність останнього. Визначено перспективність напрямку прийняття стандарту MIL-STD-810 як державного та його використання в практиці випробувальних лабораторій для виконання вимог розробників та виробників у різних галузях промисловості, а також як основи для галузевих стандартів, що забезпечує заміну застарілих та скасованих стандартів.

Ключові слова: міжнародний стандарт MIL-STD-810; транспортні випробування; ударне навантаження; формуючі ударні імпульси; програмне забезпечення для генерації-реєстрації ударів; бібліотеки інженерних мов програмування; SCADA-системи; верифікація характеристик стенда; апробація.

Вступ

У сучасних умовах при виконанні робіт з випробувань апаратних засобів програмно-технічних комплексів (ПТК) різного призначення в більшості галузей промисловості існує необхідність виконувати (задовольняти) вимоги міжнародних нормативних документів, які в більшості своїй не прийняті (визнані) як державні українські стандарти. У випробувально-сертифікаційному центрі (ВСЦ) НВП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД (атестат акредитації 20369 від 24.05.2022, виданий НААУ) у зв'язку з постійним потоком звернень щодо проведення випробувань вже накопичено достатньо пропозицій щодо актуалізації міжнародних стандартів або в рамках державних або в частині галузевих, що було викладено в низці попередніх публікацій і доповідей на конференціях [1-3].

Одним із найбільш затребуваних стандартів в цьому напрямку є військовий стандарт [4], що містить ряд керівних принципів і випробувальних методів для великої кількості лабораторних випробувань військової продукції, які дозволяють визначити тривкість широкого переліку обладнання до різних впливів в лабораторних умовах, наприклад: температура, вологість, пісок та пил, тиск, удари, падіння, вібрація, тощо. Однак, структура документа, повнота та детальність викладення інформації зумовлює зручність його використання не тільки для випробувань військової продукції, але й для об'єктів загального використання, авіаційно-космічної галузі, залізничного транспорту, електроенергетики, атомної промисловості, тощо [3, 5, 6].

Таким чином, прийняття військового стандарту [4] як державного стандарту України стає найбільш

актуальним у зв'язку з тим, що вимоги даного стандарту все більш затребувані не тільки в рамках робіт, виконуваних військово-промисловим комплексом, але, і в більшій частині, для цивільного сектора, що виконує роботи за контрактами з іноземними замовниками, для яких виконання вимог даного стандарту стає аксіомою незалежно від сегмента ринку, для якого розробляється ПТК.

Як правило, впровадження і виконання вимог стандартів, що приходять на зміну старим і розробленим у більшості випадків наприкінці минулого століття, пов'язане з оновленням експериментальної бази, додатковим навчанням і атестацією персоналу. Основним проблемним фактором з усіх перерахованих вище є пошук, вибір, придбання та введення в дію необхідного випробувального обладнання.

1. Постановка завдання

З усіх методів проведення випробувань на механічні та кліматичні види впливів, викладених у стандарті [4], необхідно виділити дві процедури, процедуру IV та процедуру VII, методу 516.5 в частині транспортних випробувань, які найбільш затребувані. Основними характеристиками методу є пікове ударне прискорення і тривалість ударного імпульсу, причому остання характеристика у попередніх вимогах, викладених у державних стандартах України, помітно менша, ніж у сучасних вимогах замовників і в [4].

В експериментальну базу ВСЦ НВП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД для проведення транспортних випробувань входять ударні стенди ST-800 і STT-500M, характеристики яких приведені в табл. 1, а зовнішній вигляд на рис. 1.

наведено на рис. 2) можливо використання непрофільних стендів, що використовуються при проведенні випробувань на широкосмугову випадкову і синусоїдальну вібрацію, як це розглянуто далі.



а



б

Рис. 1. Вигляд ударних стендів: а) ударний стенд ST-800; б) ударний стенд STT-500M

Таблиця 1
Характеристики ударних стендів

Основні характеристики	Назва обладнання	
	Ударний стенд STT-500M	Ударний стенд ST-800
Маса виробу, що випробовується, кг	до 400	до 400
Прискорення, g	до 500	до 800
Тривалість, мс	до 40	до 20

Дані стенди є електромеханічними і не мають гнучкої системи управління, побудованої на базі контролерів, що не дозволяє перепрограмувати формовані вихідні характеристики і змінювати (збільшувати) тривалість ударного впливу поза рамками значених у табл. 1. Але для вирішення завдання відтворення ударних навантажень зі збільшеною тривалістю до 100 мс (приклад необхідної форми імпульсу

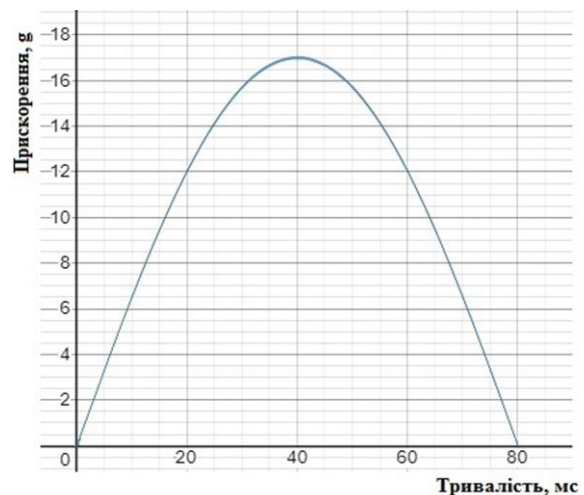


Рис. 2. Закон зміни ударного навантаження для випробування на вплив ударних навантажень, які можуть виникати при транспортуванні виробу залізничним транспортом

2. Теоретичне обґрунтування модернізації

Сучасні стандарти, що встановлюють методи випробування на удар (зокрема, [4] та [7]), вимагають, щоб випробувальне обладнання мало можливість впливати на зразок, що випробується, ударним імпульсом з заданим ступенем жорсткості. При цьому такі стандарти не встановлюють вимог до пристроїв, що відтворюють дані імпульси.

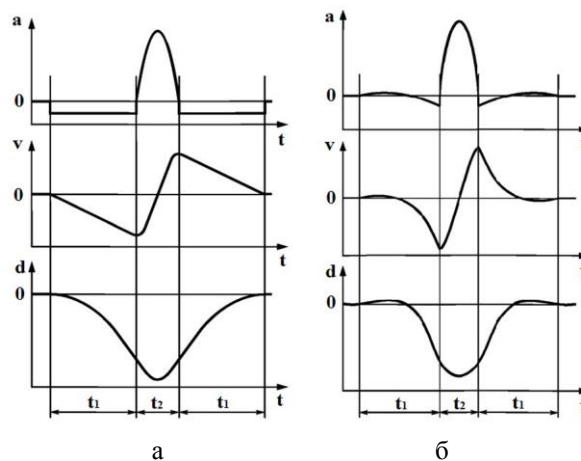
Таким чином, для відтворення ударних режимів допускається використання електродинамічних вібростендів. Дане випробувальне обладнання за наявності відповідної цифрової системи управління здатне генерувати як ударні імпульси класичної форми (трапецеїдальний, пилкоподібний, у формі напівсинусоїди), так і тимчасовий процес довільного вигляду, ударний спектр якого відповідає заданому.

На оцінку можливості використання вібраційної установки для генерування ударів впливає багато факторів, серед яких маса об'єкта випробування і його динамічні характеристики відіграють важливішу роль, ніж, наприклад, у випробуваннях на гармонійну або випадкову вібрацію. Зазвичай пікове значення змусувальної сили, яке може забезпечити вібростенд при відтворенні удару, тільки в два або три рази перевищує необхідне для створення гармонійної вібрації, щоб концентрація енергії на невеликому інтервалі тривалості удару не призводила до надмірно великого перегріву рухомої системи вібростенда.

Максимальний рівень прискорення, що може бути досягнений, може бути в два або три рази вищим за середньоквадратичне значення прискорення, що застосовується при випробуваннях на випадкову вібрацію. Максимальна вихідна напруга підсилювача потужності та коефіцієнт посилення швидкості вібростенду визначають обмеження на швидкість руху столу, хоча максимальну напругу можна змінити, використовуючи відповідний узгоджувальний трансформатор. Найбільшим обмеженням, що визначає можливість вібростенду відтворювати удари заданої форми, є межі ходу столу [8-10]. Це пов'язано з тим, що стіл після відтворення імпульсу має бути повернений у своє вихідне положення, а значить перед і після основної частини імпульсу прискорення повинні бути передбачені відповідні формуючі імпульси [11]. На графіках переміщення (див. рис. 3) видно, що найбільші переміщення пов'язані саме з формуючими імпульсами, тому вид формуючих імпульсів та їхнього рівня відносно пікового значення основної частини імпульсу істотно впливають на вимоги до переміщення, що забезпечується вібростендом.

Амплітуда формуючих імпульсів, розташованих безпосередньо до і відразу після інтервалу, на якому визначено класичний імпульс, становить малу

частку пікового значення основного імпульсу і вибір її величини формується згідно з рекомендаціями які наведені у [8-12]. У випадку реалізації варіанту б) рис. 3 стіл, на якому встановлений зразок, спочатку розганяють, а основний ударний імпульс формується під час відскоку столу в кінці його траєкторії [11].



Умовні позначення:

- a – прискорення ударного імпульсу;
- v – швидкість;
- d – переміщення;
- t – час;
- t_1 – тривалість передударного (післяударного) формуючого імпульсу;
- t_2 – тривалість основної частини імпульсу

Рис. 3. Сигнали прискорення, швидкості та переміщення: а – при відтворенні ударного імпульсу напівсинусоїдної форми;

б – при відтворенні ударного імпульсу напівсинусоїдної форми з оптимізованими передударними та післяударними ділянками

Щоб форма імпульсу не виходила за межі допуску, використовують ітеративний режим управління ударом. Спочатку застосовують імпульси малого рівня, для яких аналізують сигнал прискорення в контрольній точці. Розраховують відхилення від заданої форми і змінюють сигнал задавального генератора таким чином, щоб компенсувати отримані відхилення. Процедуру збудження імпульсів малого рівня повторюють доки отримана форма імпульсу не буде в межах допуску (на рис. 4 наведено приклад сформованого імпульсу для профілю удару з такими характеристиками: амплітуда прискорення 1 g, тривалість імпульсу 100 мс, допустиме відхилення $\pm 0,1$ g, граничне відхилення $\pm 0,2$ g). Після цього рівень імпульсу поступово підвищують, контролюючи при цьому форму сигналу, доки не буде досягнутий рівень, що відповідає заданій жорсткості випробувань. Для такої процедури налаштування рекомендовано використовувати імітатори навантаження, щоб не перевантажити об'єкт до початку основних випробувань.

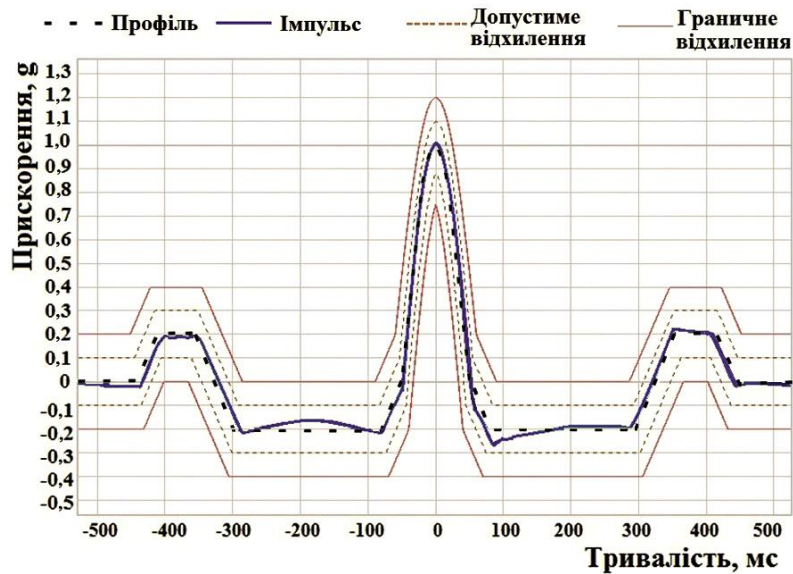


Рис. 4. Фрагмент інтерфейсу, що реалізує ітеративний процес управління формою сигналу

3. Опис модернізації дослідницького стенду, що використовується для відтворення та аналізу ударних режимів

Для проведення тестів на вплив ударних навантажень застосовувався випробувальний стенд, до складу якого входить:

- електродинамічна віброустановка УВЕ-100/5-3000 (зовнішній вигляд приведений на рис. 5);
- генератор-аналізатор спектра (на базі програмованого контролера) та ІСР акселерометри виробництва «РСВ Piezotronics» [13] зі складу ПТК реєстрації вібрації (принцип роботи генератора та аналізатора сигналу наведено на структурних схемах на рис. 6, 7).



Рис. 5. Віброустановка УВЕ-100/5-3000

Для цього контролера було розроблено програмне забезпечення «Генератор-реєстратор ударів» – проект, створений в SCADA-системі, яка постачається спільно з апаратними засобами ПТК реєстрації вібрації (далі – ПЗ «Генератор-реєстратор ударів»).

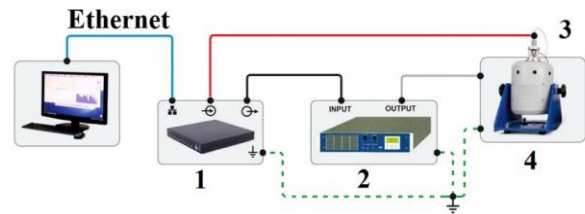


Рис. 6. Принцип роботи генератора сигналу: 1 – контролер; 2 – підсилювач, 3 – віброперетворювач; 4 – випробувальне обладнання

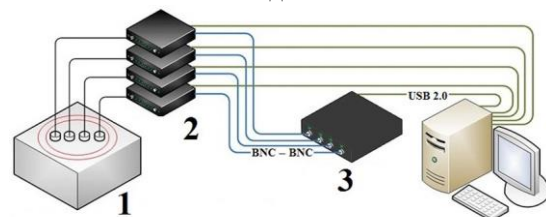


Рис. 7. Принцип роботи аналізатора сигналу: 1 – випробувальне обладнання; 2 – підсилювач заряду; 3 – контролер

Проект ПЗ «Генератор-реєстратор ударів» складається з наступних основних модулів:

- формування людино-машинного інтерфейсу, що забезпечує введення налаштувань для формування ударного імпульсу (амплітуда, тривалість, кількість ударів, період між ударами тощо) та формування звітної інформації в графічній (див. рис. 4) і числовій формі на основі поточних (одержуваних у режимі реального часу) та архівних даних;
- генерації ударного імпульсу на основі стандартного елемента «Генератор радіоімпульсів» з бібліотеки SCADA-системи з налаштуванням за умовчанням по формуванню синусоїдного сигналу за половину періоду (напівхвиля синусоїди) і вбудовування кожного разу послідовності з двох (див. рис. 4)

допоміжних імпульс-сигналів до основного (апаратна реалізація даного каналу генерації-управління представлена на рис. 6);

– допоміжних розрахунків і фільтрації вхідних сигналів з контролюючих датчиків (апаратна реалізація представлена на рис. 7). Згідно з рекомендаціями [4] та [11], у цьому модулі реалізовано фільтрування сигналу. Блок-схему підпрограми фільтрування наведено на рис. 8. Будь-який з елементів блок-схеми може бути вилучений, фільтри можна підключати в будь-якій послідовності. Розроблена підпрограма дозволяє зберегти динаміку сигналу, разом з тим виключити перешкоди та ймовірність спотворення даних.

За допомогою даного ПЗ «Генератор-реєстратор ударів» інженерний персонал, який проводить випробування, має можливість попереднього перегляду очікуваного сигналу – попередні графіки ударного спектру порівняно з заданим з урахуванням допусків.

Під час проведення випробування можливо в режимі реального часу відслідковувати зміну стану об'єкту випробувань в точці встановлення контрольного каналу та корегувати параметри та налаштування ПЗ «Генератор-реєстратор ударів» з метою утворення ударного імпульсу необхідної форми (наприклад, див. рис. 4).

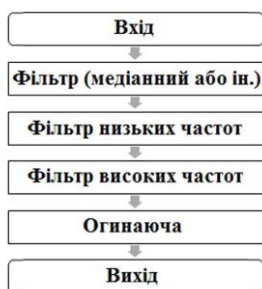


Рис. 8. Блок-схема підпрограми фільтрування

4. Верифікація дослідницького стенду

Відповідність характеристик дослідницького стенду, що застосовується для відтворення ударів, заявленим значенням (в частині амплітуди, тривалості, кількості ударів тощо) було підтверджено під час його верифікації. У ході верифікації було визначено та підтверджено, зокрема:

– діапазон пікових значень прискорення. Для визначення цього параметру проводять вимірювання для мінімального, максимального та проміжних значень пікового прискорення, що відтворюється віброустановкою, з еквівалентним навантаженням з номінальною масою $m_{\text{ном}}$, $0,5 m_{\text{ном}}$ та без навантаження. Для кожного з вказаних поєднань пікових прискорень та маси навантажень ударний вплив повторюють не менше трьох разів. Оцінку пікового значення

прискорення отримують усередненням по результатах повторних вимірювань;

– діапазон тривалостей ударних імпульсів, який визначають по усередненим відповідно до першого пункта верифікації кривим залежності прискорення від часу;

– форми відтворюваних ударних імпульсів. Для цього усереднені відповідно до першого пункта верифікації криві прискорення порівнюють з формами імпульсів та допусками на них, встановленими в [11];

– стабільність відтворення пікових значень прискорення чи ударних спектрів. В цій частині для режиму одиночного удару нестабільність пікового значення прискорення ϕ визначають як максимальне відхилення цього параметра від середнього значення в серії ударів (1), для режиму повторюваних ударів нестабільність пікового значення прискорення визначають як відхилення пікових значень першого та останнього імпульсу після усереднення:

$$\phi = \max(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}), \quad (1)$$

де x_i – значення прискорення, визначене при i -му вимірюванні;

n – кількість вимірювань.

– кількість ударів, які відтворює вібростенд в одиницю часу, визначають як середнє число ударів за хвилину в серії вимірювань;

– коефіцієнт нерівномірності розподілу прискорення по столу вібростенду. В цій частині рівномірність прискорення по столу перевіряють з використанням системи вимірювань з двома вимірювальними каналами методом заміщення, описаним у Додатку D [10]. Вимірювання проводять без навантаження для отримання максимального прискорення удару. Акселерометр А встановлюють у контрольній точці, акселерометр В – в точці на столі, максимально віддаленій від контрольної. Спочатку визначають середнє значення відношення пікових значень напруг на виходах пари акселерометрів при заданому ударному прискоренні та тривалості імпульсу $(U_{pA}/U_{pB})_1$. Потім акселерометри міняють місцями (заміщують один одним) і для того ж ударного впливу визначають нове середнє значення відношення $(U_{pA}/U_{pB})_2$.

Нерівномірність розподілу прискорення по столу вібростенду K , у відсотках, визначають за формулою:

$$K = \sqrt{\frac{(U_{pA}/U_{pB})_1}{(U_{pA}/U_{pB})_2}} \times 100\% ;$$

– відносно поперечне прискорення, яке визначають за допомогою трикомпонентного датчика, встановленого в контрольній точці стенда. Допускається використовувати три однокомпонентних датчика, встановлених на пристосуванні типу «куб». Вимірювання проводять для проміжного значення пікового ударного прискорення, при еквіваленті навантаження масою $0,5 m_{nom}$, спосіб розрахунку приведений у Додатку D [9]).

Всі результати верифікації наведені в таблицях 2 – 7, їхня оцінка відповідає вимогам стандартів [4, 7, 11] та в частині форми відтворюваних ударних імпульсів були зафіксовані напівсинусоїди по формі імпульсу з допуском $\pm 15\%$ в усіх спостереженнях.

Таким чином, враховуючи вимоги стандартів [4, 7, 11] та результати верифікації, можна зробити висновок про можливість використання описаного дослідницького стенда для проведення випробувань на вплив ударних навантажень.

Таблиця 2

Діапазон пікових значень прискорення

Перенавантаження, g	Масова характеристика навантаження стенда	Номер спостереження			Середнє значення, g
		1	2	3	
5	Без навантаження	5,0	4,9	5,0	5,0
	З номінальною масою $0,5 m_{nom}$ (50 кг)	5,0	5,1	5,1	5,1
	З номінальною масою m_{nom} (100 кг)	4,8	4,9	5,2	4,9
	При вивішуванні на амортизаційному підвісі (150 кг)	5,0	5,0	5,1	5,0
10	Без навантаження	10,1	9,8	9,9	9,9
	З номінальною масою $0,5 m_{nom}$ (50 кг)	9,9	9,7	9,9	9,9
	З номінальною масою m_{nom} (100 кг)	9,6	9,7	9,8	9,8
	При вивішуванні на амортизаційному підвісі (150 кг)	10,2	9,9	10,3	10,2
20	Без навантаження	20,3	20,4	19,9	20,2
	З номінальною масою $0,5 m_{nom}$ (50 кг)	20,2	20,2	20,4	20,3
	З номінальною масою m_{nom} (100 кг)	19,8	20,6	21,1	20,5
	При вивішуванні на амортизаційному підвісі (150 кг)	21,0	20,5	22,0	21,2

Таблиця 3

Діапазон тривалостей ударних імпульсів

Перенавантаження, g	Навантаження	Без навантаження			$0,5 m_{nom}$ (50 кг)			m_{nom} (100 кг)			(150 кг)			Середнє значення, мс
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
5	Тривалість – 5 мс	5,1	5,1	5,1	4,9	4,9	5,0	4,8	4,7	4,8	5,0	4,9	5,1	5,0
	Тривалість – 20 мс	20	21	21	20	19	19	-	-	-	20	18	19	19,7
	Тривалість – 100 мс	100	97	101	104	102	99	-	-	-	98	96	97	99,3
10	Тривалість – 5 мс	5,0	5,0	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,6	4,8	5,1	5,0	5,0	4,9
	Тривалість – 20 мс	20	20	21	20	19	20	-	-	-	18	19	19	19,6
	Тривалість – 100 мс	95	94	94	-	-	-	-	-	-	96	94	95	94,7
20	Тривалість – 5 мс	4,8	5,0	4,8	4,9	4,9	4,7	-	-	-	4,6	4,5	4,6	4,8
	Тривалість – 20 мс	19	20	20	19	18	18	-	-	-	18	18	19	18,8
	Тривалість – 100 мс	94	93	95	-	-	-	-	-	-	96	95	94	94,0

Таблиця 4

Нестабільність відтворення пікових значень прискорення

Номер спостереження	1	2	3	4	5	Нестабільність
Встановлене значення пікового прискорення, g	10,00					
Вимірне значення пікового прискорення, g	9,94	10,13	10,04	9,89	9,99	0,13

Таблиця 5

Кількість ударів в одиницю часу

Номер спостереження	1	2	3	Середнє значення
Мінімальне встановлене значення (15 ударів за хвилину)	15	15	15	15
Максимальне встановлене значення (180 ударів за хвилину)	180	181	180	180

Таблиця 6

Рівномірність розподілу прискорення по столу при встановленому піковому прискоренні 10 g

Виміряне значення в центрі платформи віброустановки, g	9,52			
Виміряне значення на краях платформи віброустановки, g	9,69	9,51	9,58	9,29
Коефіцієнт нерівномірності розповсюдження, %	1,79	0,11	0,63	2,41

Таблиця 7

Відносне поперечне прискорення при встановленому піковому прискоренні 10 g

Вісь Z, g	Вісь X, g	Вісь Y, g	Коефіцієнт поперечних складових
9,90	0,96	0,97	13,79 %

5. Результати апробації

При проведенні апробації даного виду випробувань одним із замовників був ДП «Івченко-Прогрес».

В якості об'єкту випробувань виступив турбореактивний двигун типової конструкції в стані встановлення на літальному апараті (в порталі). Маса порталу (в складі: портал, рама та інші елементи конструкції двигуна) – 117,5 кг, маса двигуна – не більше 51 кг.

Мета випробування – вплив на виріб ударних навантажень, які можуть виникати при падінні виробу відповідно до вимог Процедури IV метода 516.5 [4] з уточненнями, отриманими від замовника (див. рис. 9):

– форма ударного імпульсу – напівхвиля синусоїди;

- пікове ударне прискорення – 14 g;
- тривалість дії ударного прискорення – 70 мс;
- напрям впливу – вздовж осей X та Y.

Випробування проводились в два етапи:

- з використанням імітатора двигуна;
- з використанням турбореактивного двигуна

безпосередньо.

В процесі випробування проводили безперервний контроль амплітуди та тривалості ударного імпу-

льсу з віброперетворювачів (датчиків), встановлених у місці кріплення.

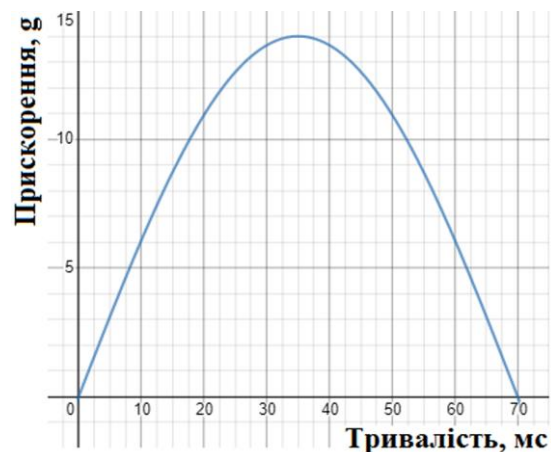


Рис. 9. Закон зміни ударного навантаження для випробування на вплив ударних навантажень, які можуть виникати при падінні виробу

Відображення результату випробування у вигляді графіку ударного імпульсу наведено на рис. 10.

Були отримані форма та рівень ударного імпульсу, які з допустимою похибкою відповідали заданій жорсткості випробувань.

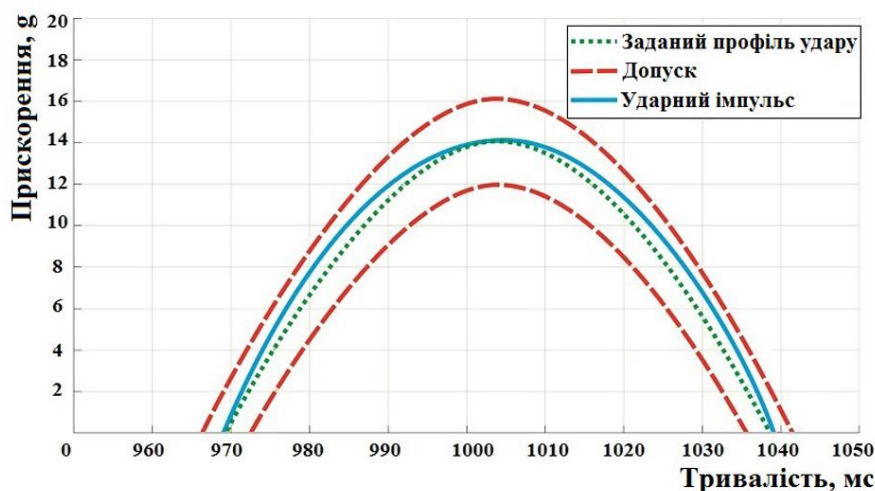


Рис. 10. Результуючий графік ударного імпульсу для імітатора двигуна

Висновки

Виходячи з наведених вище результатів верифікації та апробації застосування вібраційного стенду з розробленим програмним забезпеченням, завантаженим в його апаратно-контролерну частину, можна сформулювати основні висновки:

– при впровадженні нових стандартів як [4] можливе використання вже наявного обладнання, яке може бути модернізовано в обмеженому обсязі і, як наслідок, дає можливість мінімізувати фінансові та часові витрати від придбання та впровадження знову закуповуваного для цих цілей обладнання. Як видно з табл. 8, модернізація порівняно із закупівлею нового обладнання дає зменшення трудовитрат орієнтовно в 6 разів (без урахування простою), а в частині фінансової складової – від 50 до 200 разів залежно від обладнання, що закуповується (для прикладу, орієнтовна вартість ударного стенда STM 5 фірми ELSTAR – 60 000 доларів США, вартість ударної машини Lansmont model 95/115 з системою управління випробуваннями TouchTest Shock II та системою збору та аналізування даних – 250 000 доларів США [14, 15]);

Таблиця 8

Порівняльна оцінка фінансово-часових витрат

Витрати	Варіанти реалізації	
	Модернізація	Закупівля нового обладнання
Часові	3,7 год./місяць (програмування, верифікація, навчання та атестація персоналу)	25 год./місяць (пошук обладнання, будівельні роботи, пусконаладження, навчання та атестація персоналу) + 5 місяців (простій на час закупівлі, доставки, митних операцій)
Фінансові	50,7 тис. грн. (оплата робіт власного персоналу)	60 – 250 тис. \$ (вартість обладнання, пусконаладження, навчання) + 200 тис. грн. (оплата робіт власного персоналу)

– програмне забезпечення, розроблене в рамках даної модернізації, являє собою проєкт в середовищі SCADA-системи, запрограмований на основі стандартних бібліотечних елементів, які представлені у всіх існуючих середовищах програмування в тому числі і безкоштовно поширюваних. Даний факт дозволяє виконати перенесення запропонованої концепції програмного забезпечення в будь-яке середовище програмування;

– працездатність модернізованого випробувального обладнання була підтверджена шляхом верифікації у всьому діапазоні параметрів з позитивним результатом та була проведена апробація у чисельних реальних випробуваннях;

– особливо необхідно підкреслити нагальну необхідність якнайшвидшого впровадження нових міжнародних стандартів аналогічних [4], як державних, у зв'язку з великою затребуваністю в українських виробників ПТК, обумовленою їх міжнародними контрактними зобов'язаннями;

– процес гармонізації нормативних та нормативно-технічних документів України з міжнародними стандартами робить проблему адаптації та модернізації випробувального обладнання до їхніх вимог важливим та перспективним науково-практичним завданням у сфері матеріально-технічного забезпечення випробувань.

Внесок авторів: формулювання проблеми – **О. Ю. Златкін, О. В. Чумаченко**; огляд та аналіз інформаційних джерел – **І. В. Криживець**; розробка дослідницького стенда – **О. В. Чумаченко**; верифікація дослідницького стенда, аналіз результатів верифікації – **О. В. Чумаченко, І. В. Криживець**; аналіз результатів апробації – **О. В. Петров, Ю. І. Торба**.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Оцінка програмного забезпечення систем залізничного транспорту станційного рівня на відповідність вимогам українських стандартів [Текст] / О. В. Чумаченко, Є. А. Суліма, М. О. Корляков, О. В. Єчин // *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті : тези XII Міжнародної наук.-практ. конф., Дніпро, 12–13 грудня 2018 р.* 2018. – С. 48.
2. Чумаченко, О. В. Оцінка програмного забезпечення систем залізничного транспорту станційного рівня на відповідність вимогам українських стандартів [Текст] / О. В. Чумаченко, Є. А. Суліма // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – 2020.* – № 1. – С. 34–40.
3. Чумаченко, О. В. Актуалізація та впровадження MIL-STD-810 в систему випробувань України [Текст] / О. В. Чумаченко, І. В. Криживець // *Світ наукових досліджень : матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції, м. Тернопіль, Україна, м. Переворськ, Польща, 29–30 вересня 2022 р.* – Вип. 12 – С. 311–313.
4. MIL-STD-810H. Test method standard: environmental engineering considerations and laboratory tests [Text]. – Impl. 2019-01-31. – The US Department of Defense, 2019. – 1089 p.

5. Dergachov, K. *Impact-Resistant Flying Platform for Use in the Urban Construction Monitoring [Text]*. / K. Dergachov, A. Kulik // *Methods and Applications of Geospatial Technology in Sustainable Urbanism – IGI Global, 2021 – P. 520-551. DOI: 10.4018/978-1-7998-2249-3.ch017.*

6. Неманежин, Є. О. *Теоретичні та експериментальні методи визначення характеристик міцності лопаток турбін при термомеханічному навантаженні [Текст]* / Є. О. Неманежин, В. М. Івко, Ю. І. Торба // *Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2021. – № 4 спецвипуск 1 (173). – С. 93–101. DOI: 10.32620/akt.2021.4sup1.13.*

7. ДСТУ ІЕС 60068-2-27:2015. *Випробування на вплив зовнішніх чинників. Частина 2-27. Випробування. Випробування Ea та настанови: Удар (ІЕС 60068-2-27:2008, IDT) [Текст]. – Чинний з 2016-01-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 40 с.*

8. Ключев, В. В. *Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Кн. 2. [Текст]* / В. В. Ключев. – М. : Машиностроение, 1978. – 439 с.

9. Искович-Лотоцкий, Р. Д. *Машины вибрационного и виброударного действия [Текст]* / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – Киев : Техника, 1982. – 208 с.

10. Бурого, А. Н. *Стенды для испытаний изделий на ударные воздействия [Текст]* / А. Н. Бурого. – Л. : ЛДНТП, 1979. – 240 с.

11. ISO 8568:2007 *Mechanical shock – Testing machines – Characteristics and performance [Text]. – Impl. 01-07-2007. – Geneva : ISO, 2007. – 23 p.*

12. Piersol, A. G. *Harris' shock and vibration handbook – 6th ed. [Text]* / A. G. Piersol, T. L. Paez. – McGraw-Hill Companies, 2009. – 1456 p.

13. PCB Piezotronics *Accelerometers and Vibration Sensors for Research & Development [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pcb.com/sensors-for-test-measurement/accelerometers>. – 16.01.2023.*

14. Lansmont Corporation. *Model 95/115 Shock Test System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lansmont.com/products/shock/standard-shock-test-systems/lansmont-95-115>. – 16.01.2023.*

15. ELSTAR Elektronik AG *Shock / Drop & Vibration Testing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elstar.com/products/mechanical-shock-vibration-testing.html>. – 16.01.2023.*

References

1. Chumachenko, O. V., Sulima, Ye. A., Korlyakov, M. O., Yechyn, O. V. *Otsinka programnoho zabezpechennya system zaliznychnoho transportu stantsynoho rivnya na vidpovidnist' vymoham ukrayins'kykh standartiv [Software testing of station-level railway control systems for compliance with Ukrainian standards]. Suchasni informatsiyi ta komunikatsiyi tekhnolohiyi na transporti, v pro-myslovosti ta osviti: tezy XII Mizhnarodnoyi nauk.-prakt. konf. [Theses of XII International scientific-practical conference "Modern*

information and communication technologies in transport, industry and education"]. Dnipro, 2018, pp. 48.

2. Chumachenko, O. V., Sulima, Ye. A., Otsinka programnoho zabezpechennya system zaliznychnoho transportu stantsynoho rivnya na vidpovidnist' vymoham ukrayins'kykh standartiv [Software testing of station-level railway control systems for compliance with Ukrainian standards]. *Informatsiyno-keruyuchi systemy na zaliznychnomu transporti [Information and control systems at railway transport]*, 2020, no. 1, pp. 34-40.

3. Chumachenko, O. V., Kryzhyvets', I. V. Aktualizatsiya ta vprovadzhennya MIL-STD-810 v systemu vyprobuvan' Ukrayiny [Updating and implementation of MIL-STD-810 in the test system of Ukraine] *Svit naukovykh doslidzhen' : materialy Mizhnarodnoyi mul'tydystryplarnoyi naukovoyi internet-konferentsiyi [Materials of International Multidisciplinary Scientific Internet Conference]*. Ternopil (Ukraine), Perevorsk (Poland), 2022, no. 12, pp. 311-313.

4. MIL-STD-810H. *Test method standard: environmental engineering considerations and laboratory tests*. The US Department of Defense, 2019. 1089 p.

5. Dergachov, K., Kulik, A. *Impact-Resistant Flying Platform for Use in the Urban Construction Monitoring. Methods and Applications of Geospatial Technology in Sustainable Urbanism*, IGI Global, 2021. pp. 520-551. DOI: 10.4018/978-1-7998-2249-3.ch017.

6. Nemanzhyn, Ye. O., Ivko, V. M., Torba, Yu. I. *Teoretychni ta eksperymental'ni metody vyznachennya kharakterystyk mitsnosti lopatok turbin pry termomekhanichnomu navantazheni [Theoretical and experimental methods for determining the strength characteristics of turbine blades under thermomechanical loading]. Aviacijno-kosmicna tehnik i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2021, no. 4sup1 (173), pp. 93-101. DOI: 10.32620/akt.2021.4sup1.13.

7. DSTU ІЕС 60068-2-27:2015 *Vyprobuvannya na vplyv zovnishnikh chynnykiv. Chastyna 2-27. Vyprobuvannya. Vyprobuvannya Ea ta nastanovy: Udar (ІЕС 60068-2-27:2008, IDT) [Environmental testing - Part 2-27: Tests - Test Ea and guidance: Shock]*. Kyiv, «UkrNDNC» CE Publ., 2015. 40 p.

8. Klyuev, V. V. *Pribory i sistemy dlya izmereniya vibratsii, shuma i udara. Кн. 2. [Instruments and systems for measuring of vibration, noise and shock. Book 2]*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 439 p.

9. Iskovich-Lototskiy, R. D., Matveev, I. B., Kрат, V. A. *Mashiny vibratsionnogo i vibroudarnogo deystviya [Machines of vibration and vibroimpact action]*. Kyiv, Tekhnika Publ., 1982. 208 p.

10. Burago, A. N. *Stendy dlya ispytaniy izdeliy na udarnye vozdeystviya [Stands for testing products for impact]*. Leningrad, LDNTP Publ., 1979. 240 p.

11. ISO 8568:2007 *Mechanical shock – Testing machines – Characteristics and performance*. Geneva, ISO Publ., 2007. 23 p.

12. Piersol, A. G., Paez, T. L. *Harris' shock and vibration handbook*, 6th ed., McGraw-Hill Companies Publ., 2009. 1456 p.

13. *PCB Piezotronics Accelerometers and Vibration Sensors for Research & Development*. Available at: <https://www.pcb.com/sensors-for-test-measurement/accelerometers> (accessed 16.01.2023).

14. *Lansmont Corporation Model 95/115 Shock Test System*. Available at: <https://www.lansmont.com/>

[products/shock/standard-shock-test-systems/lansmont-95-115](https://www.lansmont.com/products/shock/standard-shock-test-systems/lansmont-95-115) (accessed 16.01.2023).

15. *ELSTAR Elektronik AG Shock / Drop & Vibration Testing*. Available at: <https://www.elstar.com/products/mechanical-shock-vibration-testing.html> (accessed 16.01.2023).

Надійшла до редакції 16.01.2023, розглянута на редколегії 20.02.2023

WAYS OF ADAPTATION AND MODERNIZATION OF TEST EQUIPMENT FOR IMITATION OF SHOCK LOADS BASED ON THE REQUIREMENTS OF THE STANDARD MIL-STD-810

Oleh Zlatkin, Oleksii Chumachenko, Inna Kryzhyvets, Oleksii Petrov, Yurii Torba

The subject matter of the article is the process of testing the objects of general use, aviation and space industry, railway transport, electric power industry, and nuclear industry on the impact of shock loads. The goal is to implement modern international standards, in particular MIL-STD-810, in the practice of testing laboratories. The tasks to be solved are: to study the possibility of using vibration stands in impact testing and to modernize the existing test equipment by developing a new software for control systems based on existing and proven algorithms. To achieve this goal, the analysis of current regulatory documents was carried out and the existing experience in the conformity assessment was adapted. The following results were obtained: a research test stand was created using the technical capabilities of the Test & Certification Center of RPI "HARTRON-ARKOS" LTD. The software was developed using standard library elements from the SCADA system. The capacity of using a vibrating stand during impact testing was taken into account, and an iterative impact control mode was implemented. The operability of the modernized test equipment was confirmed by full-scale verification of all parameters with a positive result, and approbation was passed during real tests in various modes for complex test objects. This paper formulates proposals for expanding the capabilities of the existing laboratory and testing base when implementing MIL-STD-810. The proposed approach to software development allows the replication of the code in any other software environment. A comparative assessment of financial and time costs for the purchase of new and modernization of existing equipment confirms the economic feasibility of the described approach. The perceptiveness of the adoption of the MIL-STD-810 standard as a state standard of Ukraine was defined. It is proposed to use this standard in the practice of testing laboratories to conform the requirements of developers and manufacturers in various industries, as well as a basis for industry standards, which ensures the replacement of outdated and canceled standards.

Keywords: international standard of MIL-STD-810; transport tests; shock load; forming shock pulses; software for generation-registration of impacts; libraries of engineering programming languages; SCADA systems; verification of test bench characteristics; approbation.

Златкін Олег Юрійович – канд. техн. наук, Генеральний директор, Науково-виробниче підприємство ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Харків, Україна.

Чумаченко Олександр Валентинович – канд. техн. наук, директор зі спеціальних випробувань, Науково-виробниче підприємство ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Харків, Україна.

Криживець Інна Володимирівна – провідний інженер, Науково-виробниче підприємство ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Харків, Україна.

Петров Олександр Володимирович – керівник групи, Державне підприємство «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. Академіка О. Г. Івченка, Запоріжжя, Україна.

Торба Юрій Іванович – начальник комплексу, Державне підприємство «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. Академіка О. Г. Івченка, Запоріжжя, Україна.

Oleh Zlatkin – Ph.D. tech. Sciences, Director General, RPI HARTRON-ARKOS LTD, Kharkiv, Ukraine, e-mail: info@hartron-arkos.com.

Oleksii Chumachenko – Ph.D. tech. Sciences, Director of Special Tests, RPI HARTRON-ARKOS LTD, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oleksiychumachenko@meta.ua.

Inna Kryzhyvets – Lead Engineer, RPI HARTRON-ARKOS LTD, Kharkiv, Ukraine, e-mail: inna.korsichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4525-5608.

Oleksii Petrov – Head of Group, Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician O. G. Ivchenko, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: 03530@ivchenko-progress.com.

Yurii Torba – Head of Complex, Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician O. G. Ivchenko, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: torba.yuriy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8470-9049.