

<https://doi.org/10.15407/knit2021.03.076>  
УДК 620.179.16:621.454.3

**О. В. КУЛИК**<sup>1, 2</sup>, Ген. директор, канд. техн. наук, доцент  
E-mail: Aleks.kulyk@gmail.com

**П. Н. ЖЕЛТОВ**<sup>1</sup>, нач. відділу науч. досліджень  
E-mail: Zheltov.pn@gmail.com

**С. В. КЛИМЕНКО**<sup>2</sup>, доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент  
E-mail: Klymenko.svetlana@gmail.com, klymenko@ftf.dnu.edu.ua

**В. В. ЧАБАНОВ**<sup>3</sup>, директор  
E-mail: chabanov@ukr.net

<sup>1</sup> Національний центр аерокосмічної освіти молоді імені О. М. Макарова  
Проспект Гагаріна 26, Дніпро, Україна, 49005

<sup>2</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
Проспект Гагаріна 72, Дніпро, Україна, 49010

<sup>3</sup> Товариство з обмеженою відповідальністю «Новітні машини»  
вул. Луговська 152, Дніпро, Україна, 49081

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА БЕЗКОНТАКТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОРПУСІВ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ ТВЕРДОГО ПАЛИВА З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*В даний час у різних галузях промисловості — машинобудуванні, авіабудуванні, енергетиці тощо — питання забезпечення якості продукції, що випускається, і її контролю стоїть особливо гостро. Це пов'язано, у першу чергу, з постійно зростаючими вимогами до підвищення надійності при все більших навантаженнях на вироби, що тягне за собою посилення технічних норм. Особливо актуальним є питання контролю якості для виробів ракетно-космічної техніки. Сучасні силові конструкції ракетно-космічних літальних апаратів з полімерних композиційних матеріалів, і особливо корпусів ракетних двигунів на твердому паливі (РДТТ), є багатошаровими пакетами з різних полімерно-композитних матеріалів (ПКМ), що отримуються і з'єднуються між собою у процесі виготовлення корпусу. Працездатність РДТТ залежить від якості формування ПКМ в умовах виробництва. Найбільш важливими питаннями стають реалізація виробничого контролю якості композитних конструкцій, достовірність результатів контролю і можливість автоматизації процесу контролю.*

*У статті представлено автоматизовану систему безконтактного ультразвукового неруйнівного контролю, яка дозволяє контролювати стабільність технологічного процесу формування композиційного матеріалу стінки корпусу РДТТ і при необхідності здійснювати його коригування. Виявлення зон аномального порушення цілісності матеріалу стінки корпусу РДТТ здійснюється за рахунок адаптивних алгоритмів, цифрових систем багаторівневої матричної обробки і оптимальної фільтрації одержуваних сигналів. Автоматизована система безконтактного ультразвукового неруйнівного контролю якості корпусів РДТТ дозволяє здійснювати реєстрацію умов сканування і контролю для більш наочного представлення дефектограми в розгорнутому вигляді корпусу виробу у процесі контролю і при документуванні його результатів. Представлені результати роботи щодо розробки автоматизованої системи неруйнівного контролю суцільності корпусів РДТТ типу «кокон» підтверджують можливості практичної реалізації в умовах виробництва.*

**Ключові слова:** корпус ракетного двигуна твердого палива, композиційний матеріал, автоматизована система неруйнівного контролю, безконтактний метод ультразвукового контролю, дефектоскоп, система обробки інформації.

Цитування: Кулик О. В., Желтов П. Н., Клименко С. В., Чабанов В. В. Автоматизована система безконтактного ультразвукового неруйнівного контролю якості корпусів ракетних двигунів твердого палива з композиційних матеріалів. *Космічна наука і технологія*. 2021. 27, № 3 (130). С. 76—84. <https://doi.org/10.15407/knit2021.03.076>

## ВСТУП

У вітчизняній та зарубіжній практиці неруйнівного контролю (НК) є тенденція підвищення інформативності методів дефектоскопії і точності результатів контролю як за рахунок використання більш складних методів та алгоритмів обробки інформації, так і застосування нових методичних прийомів, які базуються на традиційно використовуваних у практиці неруйнівного контролю [1—9].

Сучасні матеріали на основі полімерів стали популярними для застосування їх в різних галузях промисловості [10]. Полімерні композиційні матеріали, маючи широкі перспективи використання в різних галузях техніки, вимагають особливого підходу, нових рішень при розробці і створенні методів та засобів їхньої дефектоскопії. Вони дозволяють виключити відбраковані вироби на ранніх стадіях виготовлення та контролювати правильність параметрів технології, оцінювати їхню надійність, технологічність, конструктивність відпрацювання та ін. Це викликано великою різноманітністю видів таких матеріалів, специфічними особливостями конструкцій з них і технологією виготовлення, розкидом фізико-механічних і міцнісних характеристик, великою різноманітністю типів дефектів, що виникають в процесі виготовлення та експлуатації виробів з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [4—6, 8, 11].

Традиційними методами дефектоскопії виробів з ПКМ є акустичний, радіаційний, радіохвильовий та тепловий. Одним з найбільш поширених методів неруйнівного контролю є акустичний метод, який має ряд переваг перед іншими методами неруйнівного контролю виробів з ПКМ:

а) інформативними ознаками дефекту є зміна параметрів пружного імпульсу, що поширюється в контрольованому матеріалі та розширює сферу застосування цього методу в частині можливості визначення фізико-механічних характеристик матеріалів;

б) велика можливість механізації і автоматизації, яка забезпечується високою технологічністю процесу контролю, а також підвищення продуктивності контролю;

в) нескладна та безпечна порівняно з іншими методами апаратурна реалізація;

г) невисока вартість та використання серійної апаратури [6, 8].

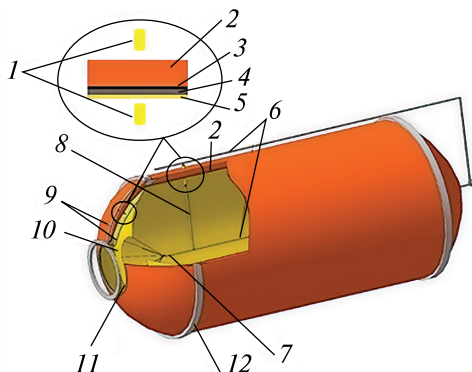
Проте, не дивлячись на зростання обсягу використання акустичних методів дефектоскопії для контролю виробів з ПКМ, проблемам автоматизації цих методів, зокрема комплексного контролю в умовах виробництва, підвищенню їхньої достовірності та інформативності присвячено відносно невелика кількість робіт.

Слід зазначити, що ряд проблем при проектуванні систем автоматизованого НК виникає через специфічні властивості ПКМ. Відсутність опрацьованих теоретичних моделей, які б повно і адекватно описували процес дефектоскопії виробів з ПКМ, породжує спектр проблем, пов'язаних з вибором параметрів сигналів збудження, параметрів сигналів, що підлягають вимірюванню та вибору інформативних ознак поділу якісних та дефектних областей контрольованих виробів [5].

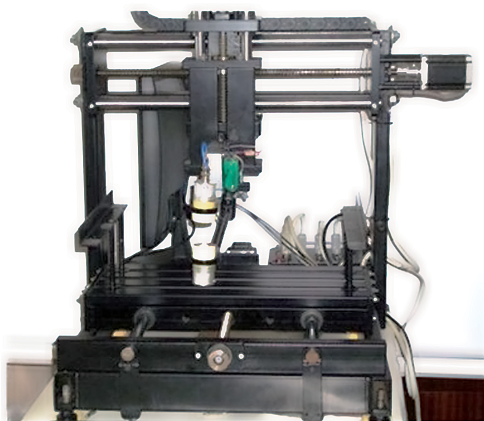
Тому, з огляду на перелічені переваги, загальну тенденцію розвитку методів та засобів неруйнівного контролю, а також недостатній ступінь автоматизації, що не дозволяє реалізувати всі ці переваги, є досить актуальним розробка нових методів та програмно-апаратних засобів автоматизованого акустичного неруйнівного контролю, зокрема безконтактних методів (повітряно-акустичний зв'язок), що забезпечує високу якість контролю, інформативність і достовірність результатів.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

За останні роки значно підвищилися вимоги до якості і надійності продукції, що виробляється, особливо виробів ракетно-космічної техніки [12]. Сучасні силові конструкції ракетно-космічних літальних апаратів з полімерних композиційних матеріалів, і особливо корпусів ракетних двигунів на твердому паливі (РДТТ), є багатошаровими пакетами з різних композитів, які отримуються та поєднуються між собою у процесі виготовлення корпусу [13, 14]. Від якості формування композитів в умовах виробництва залежить працездатність ракетного двигуна [12, 13].



**Рис. 1.** Схема безконтактного автоматизованого контролю корпусів РДТТ: 1 – безконтактні ПЕП, 2 – силова оболонка, 3 – гермошар, 4 – внутрішнє теплозахисне покриття, 5 – захисний шар, що закріплюється, 6 – пристрій сканування корпуса, 7 – пристрій звільнення, що розкріплює манжети, 8 – телескопічна штанга, 9 – пристрій сканування днища, 10 – манжета, що розкріплює, 11 – фланець, 12 – шпангоут



**Рис. 2.** Лабораторна установка для дослідження безконтактного методу неруйнівного контролю якості

**Таблиця 1. Основні технічні характеристики лабораторної установки**

Характеристика	Значення
Мінімальний крок сітки сканування по двох координатах, мм	1
Точність позиціонування сканера	$\pm 0.01$
Максимальний розмір сканування зразка, мм	200 × 400
Максимальна товщина зразка, мм	40

Найбільш важливими питаннями є:

- реалізація виробничого контролю якості композитних конструкцій,

- достовірність результатів контролю,

- можливість автоматизації процесу контролю.

До теперішнього часу в автоматизованих системах неруйнівного контролю якості композитних корпусів РДТТ застосовувався ультразвуковий контактний метод контролю з використанням перетворювачів, які котяться. Цей метод має ряд істотних недоліків:

- нестабільний акустичний контакт перетворювача, що котиться поверхнею контрольованого виробу, який залежить від шорсткості поверхні корпуса з композиційних матеріалів, швидкості пересування перетворювача, зусилля натиску, орієнтації датчика, його геометрії тощо;

- складність алгоритму обробки сигналу;

- зниження імовірності контролю;

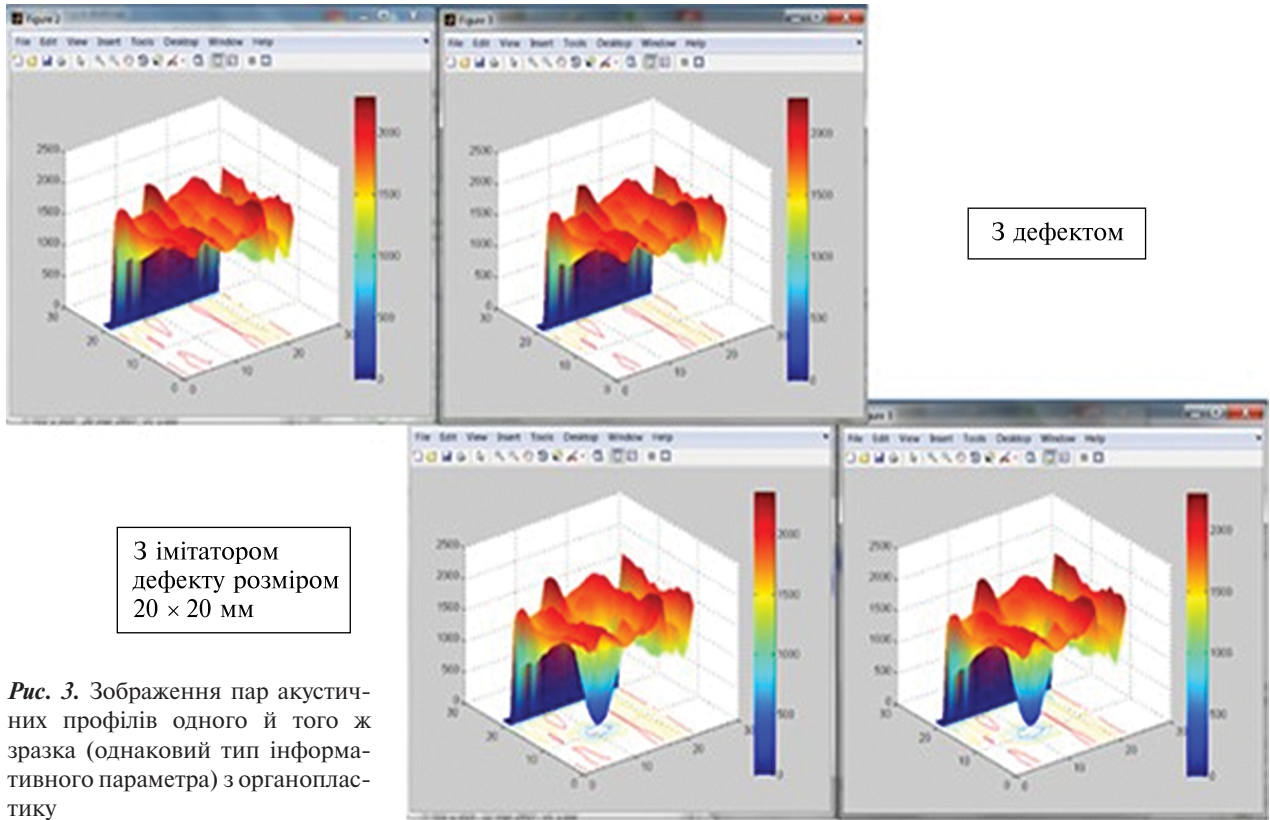
- знос протектора перетворювача.

З метою виключення зазначених недоліків були проведені комплексні дослідження, що включають лабораторну та виробничу складові. Шляхом застосування удосконаленої акустикоелектронної системи на базі тіньового безконтактного методу контролю вирішено проблему отримання стабільного, надійного і продуктивного ультразвукового наскрізного контролю багат шарового полімерно-композиційного матеріалу корпуса РДТТ, що контролюється (рис. 1).

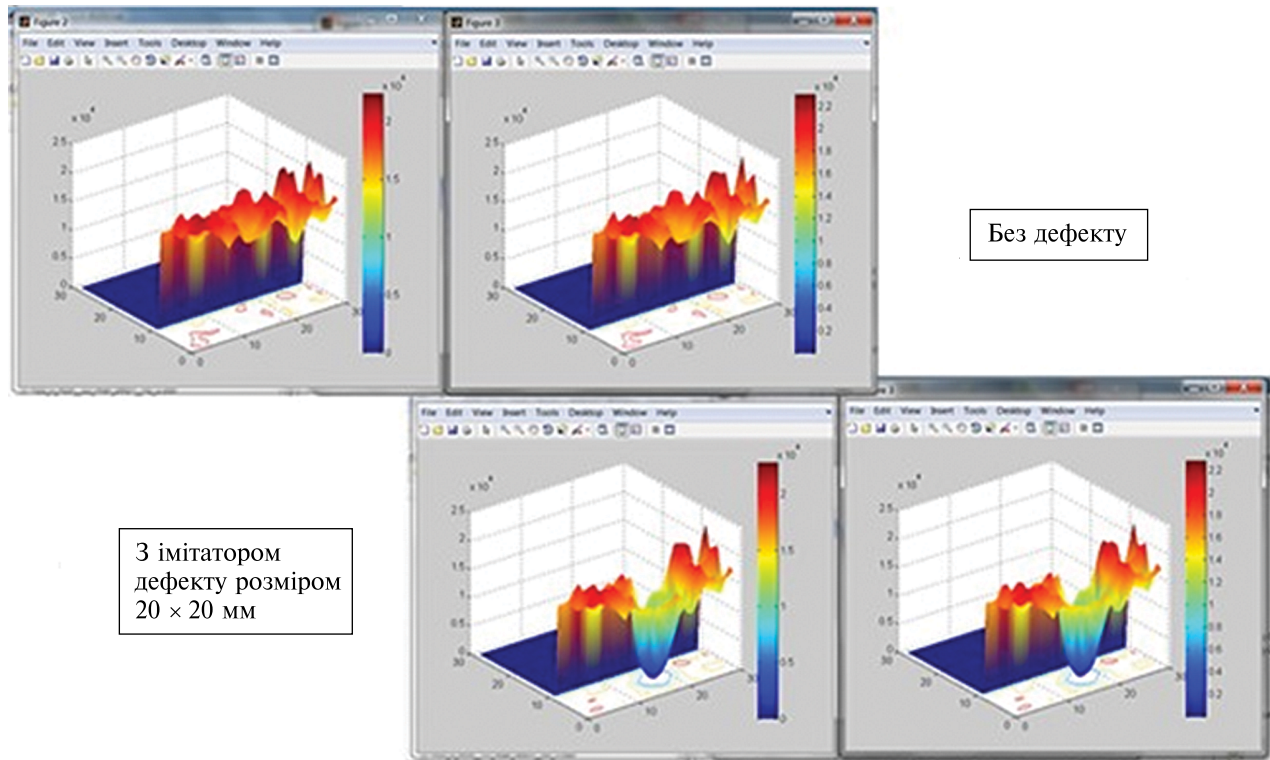
#### ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗКОНТАКТНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОРТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

На рис. 2 представлено лабораторну установку для дослідження безконтактного методу неруйнівного контролю якості. Установка дозволяє контролювати плоскі або обмежені на кривизну зразки з вуглепластику, органопластику, склопластику, а також інших ПКМ. У табл. 1 наведено основні технічні характеристики лабораторної установки.

Проведені дослідження застосування безконтактного методу неруйнівного контролю на представленій лабораторній установці дозволили:



*Рис. 3.* Зображення пар акустичних профілів одного й того ж зразка (однаковий тип інформативного параметра) з органопластики



*Рис. 4.* Зображення пар акустичних профілів одного й того ж зразка (однаковий тип інформативного параметра) з вуглепластика розміром  $200 \times 105$  мм та товщиною 8 мм, отриманих при контролі в різний час

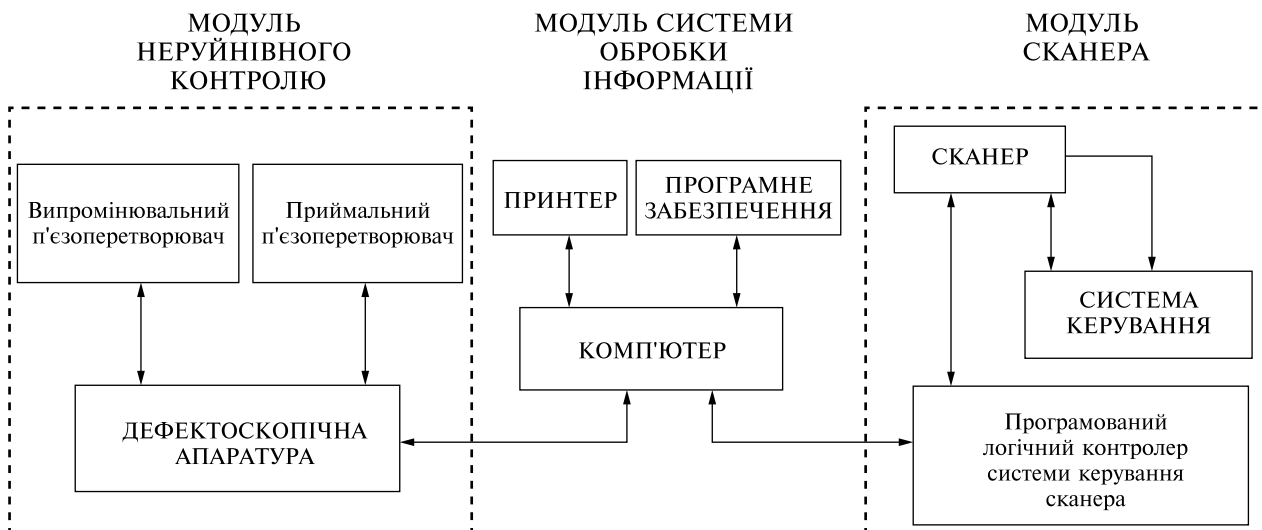


Рис. 5. Структурна схема лабораторної установки

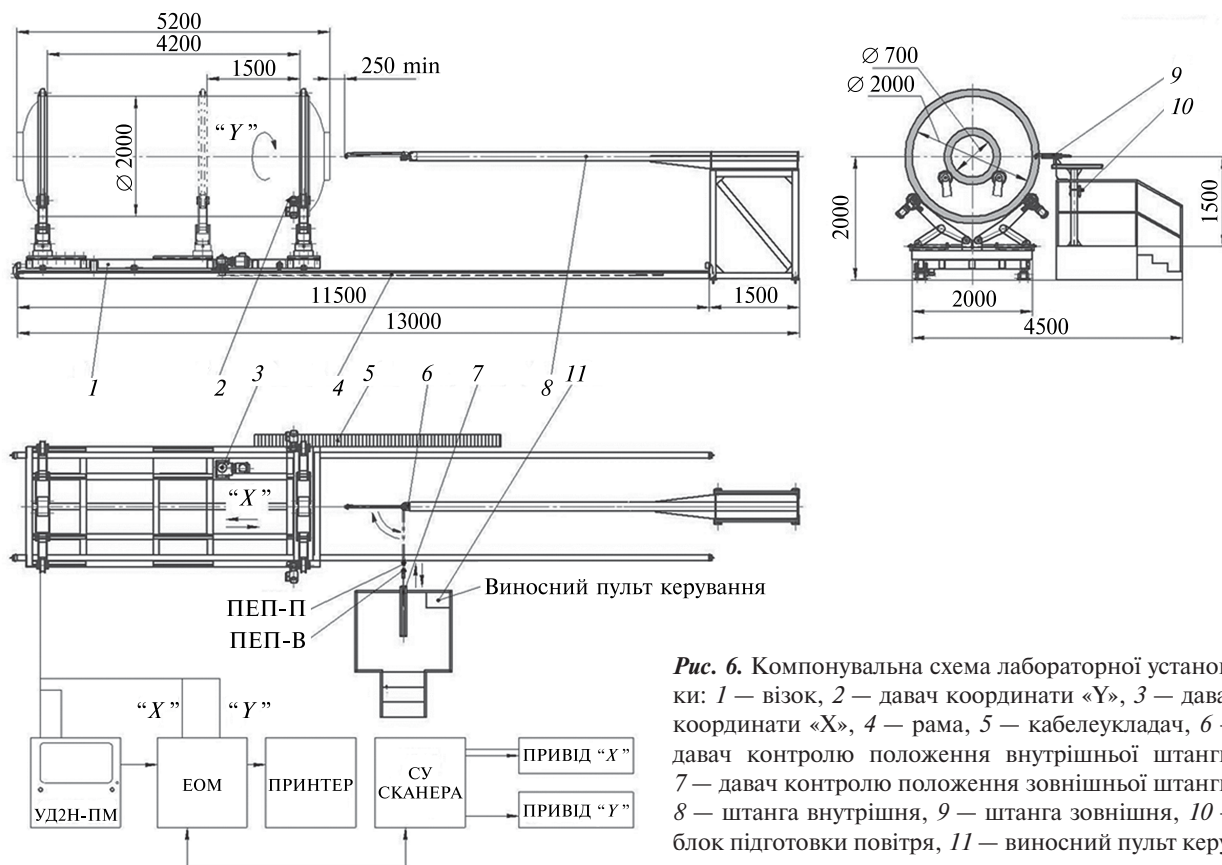


Рис. 6. Компонувальна схема лабораторної установки: 1 — візок, 2 — датчик координати «Y», 3 — датчик координати «X», 4 — рама, 5 — кабелюкладач, 6 — датчик контролю положення внутрішньої штанги, 7 — датчик контролю положення зовнішньої штанги, 8 — штанга внутрішня, 9 — штанга зовнішня, 10 — блок підготовки повітря, 11 — вивозний пульт керування

- провести відстеження режимів контролю виробів ПКМ,
- виділити особливі вимоги до об'єкта контролю,
- для проведення контролю виробів ПКМ визначити необхідний набір приладів та систем,
- розробити систему обробки інформації.

На рис. 3 та 4 представлено зображення акустичних профілів одного й того ж зразка, отриманих при контролі в різний час для зразків з органічного пластику та вуглепластику.

Проведені дослідження показали стабільність отриманих результатів при контролі зразків ПКМ в різний час [13—15].

Таблиця 2. Характеристики лабораторної установки

Характеристика	Значення
Розрахункова продуктивність контролю, м <sup>2</sup> / год	до 3
При робочих режимах сканування:	
крок, мм	10
лінійна швидкість, мм / с	100
Мінімальний розмір несущільності, що виявляється, при мінімальному кроці сканування, мм	10 × 10

Таблиця 3. Характеристики об'єкта контролю

Характеристика	Значення
<i>Контрольовані вироби</i>	
Довжина, мм <sup>2</sup>	2 000...4 000
Зовнішній діаметр, мм	700...2 000
<i>Силова оболонка</i>	
Матеріал	Полімерно-композиційні матеріали
Товщина, мм	4...20
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1.6 (± 20 %)
<i>Теплозахисне покриття</i>	
Матеріал	Гума
Товщина, мм	1...10
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1.5 (± 20 %)
<i>Зона контролю</i>	
Циліндрична частина корпусу з полімерних композиційних матеріалів з гумовим покриттям на внутрішній поверхні	

На основі проведених експериментальних робіт, з урахуванням отриманих результатів, розроблено технічні пропозиції зі створення промислової автоматизованої установки для неруйнівного контролю якості корпусів РДТТ з композиційних матеріалів безконтактним методом.

#### АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОРПУСІВ ДВИГУНІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

Автоматизована установка дозволяє виявляти дефекти типу порушення цілісності в силовій оболонці корпусу двигуна, а також у місцях скріплення теплозахисного покриття і силовій оболонці на циліндричній частині корпусів РДТТ або інших виробів з композиційних матеріалів.

На рис. 5 представлено структурну схему автоматизованої установки, яка складається з трьох основних модулів: модуля неруйнівного контролю, модуля сканера та модуля системи обробки інформації.

У табл. 2 та 3 приведено основні характеристики автоматизованої установки та об'єкта контролю відповідно.

Аналіз характеристик установки та об'єктів контролю дозволяють використовувати розроблену установку в умовах виробництва для безконтактного контролю якості оболонки корпусів РДТТ. Технічні характеристики сканера, дефектоскопа та системи обробки інформації представлено у табл. 4. На рис. 6 представлена структурна схема лабораторної установки.

#### ВИСНОВКИ

У статті представлено автоматизовану систему неруйнівного контролю суцільності корпусів РДТТ дозволяє:

- шляхом оптимізації частотного діапазону, енергетичних і шумових характеристик ультразвукового сигналу акустико-електронного тракту на випромінювання і прийом забезпечувати необхідні чутливість і роздільна здатність контролю;
- за рахунок адаптивних алгоритмів, цифрових систем багаторівневої матричної обробки і оптимальної фільтрації одержуваних сигналів підвищити ймовірність виявлення зон аномаль-

Таблиця 4. Технічні характеристики сканера, дефектоскопа і системи обробки інформації

Характеристика	Значення
<i>Технічні характеристики сканера</i>	
Схема контролю	«ємність на сканері»
Траєкторії контролю	спіральна, порядкова
Лінійна швидкість сканування, мм/с	10...200
Крок сканування (задається «Системою обробки інформації» з дискретністю 1 мм), мм	2...20 мм
Режими роботи	налаштування, контроль, повторний контроль
Керування	від програмованого логічного контролера
Габаритні розміри, мм	13 000 × 4 500 × 3 000
<i>Технічні характеристики дефектоскопа</i>	
Зовнішнє керування від комп'ютера	Можливе
Частотний діапазон, кГц	20...200
Відображення інформації	A-скан
Максимальна амплітуда зондувального імпульсу, В	≥200
Тактова частота мікропроцесорного контролера, МГц	≥300
Автоматична самодіагностика	Здійснюється
Метод контролю дефектів	Повітряно-акустичний зв'язок
Програмне забезпечення дефектоскопа	Наявне
<i>Перелік технічних характеристик системи обробки інформації</i>	
Координати несучільності; Площа виявленої несучільності; Сумарна площа несучільностей на контрольованій ділянці; Амплітуда ультразвукового сигналу і його відносне загасання; Дефектограми типу С-скан розгортки ємності на екрані оператора; Параметри контролю на екрані оператора; Файли зображення дефектограми на Flash-носії; Протокол контролю на паперовому носії з описом умов і результатів контролю, а також двовимірна розгортка ємності. База даних результатів контролю ємностей: режим роботи — перевірка, налаштування, контроль, вторинна обробка; режим обробки інформації — програмне забезпечення системи збору, обробки та накопичення інформації	

ного порушення цілісності матеріалу стінки корпусу РДТГ;

- контролювати стабільність технологічного процесу формування композиційного матеріалу стінки корпусу і при необхідності здійснювати його коригування, шляхом подання в матричному відображенні акустичного портрета стінки корпусу РДТГ;

- здійснювати реєстрацію умов сканування і контролю наочного уявлення дефектограми в розгорнутому вигляді корпусу РДТГ в процесі контролю і при документації його результатів.

В даний час провадиться подальше дослідження одностороннім ультразвуковим безконтактним методом контролю матеріалів і конструкцій, таких як:

- балонів, корпусів двигунів, паливних баків і інших складнопрофільних виробів ПКМ;
- тришарових стільникових конструкцій: панелей сонячних батарей, негерметичних космічних апаратів, корпусів радіотелескопів, жароміцних гальванохімічних покриттів розтрубів, камер згоряння рідинних ракетних двигунів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Алешин Н. П., Бобров В. Т., Ланге Ю. В., Щербинский В. Г. *Ультразвуковой контроль*. Под общ. ред. В. В. Клюева. 2-е изд. Москва: ИД «Спектр», 2013. 224 с.
2. Барынин В. А., Будадин О. Н., Кульков А. А. *Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов*. Москва: ИД «Спектр», 2013. 242 с.
3. Емец В. В., Дронь Н. М., Косицина Е. С. Оценка возможности применения твердых углеводородов в автофажных двигателях ракет-носителей легкого класса. *J. chemistry and technologies*. 2019. **27**, № 1. P. 58—64.
4. Малайчук В. П., Мозговой А. В. *Математическая дефектоскопия*: Монография. Днепропетровск: «Системные технологии», 2005. 180 с.
5. Мурашов В. В. Контроль многослойных клееных конструкций из полимерных композиционных материалов. *Клеи. Герметики. Технологии*. 2011. № 10. С. 16—23.
6. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль. *Неразрушающий контроль*: В 7 т. Под ред. В. В. Клюева. Москва: Машиностроение, 2004. Т. 3. 864 с.
7. Разработка технического проекта на установку бесконтактного теневого неразрушающего контроля крупногабаритных изделий из ПКМ с большим коэффициентом затухания ультразвуковых колебаний. Испытания и обработка узлов экспериментального УЗ канала установки контроля на лабораторном стенде в динамическом режиме: отчет по НИР; рук. П. Н. Желтов, исп. О. Л. Серебренников. Днепропетровск: ОАО УкрНИИТМ, 2013. 42 с.
8. Кулик А. В., Джур О. Е., Хуторный В. В. и др. *Технология производства ракетно-космических летательных аппаратов*: учебн. Под ред. Е. А. Джур. Днепропетровск: Арт-Пресс, 2014. 480 с.
9. Экспериментальное исследование и разработка метода неразрушающего контроля (дефектоскопия) крупногабаритных узлов (межступенной отсек, обтекатель) изделий РКТ из полимерных композиционных материалов с сотовым наполнителем с целью повышения производительности, информативности и надежности контроля. Разработка метода контроля: отчет по НИР; рук. П. Н. Желтов, исп. О. Л. Серебренников. Днепропетровск: ОАО УкрНИИТМ, 2012. 37 с.
10. Экспериментальное исследование и разработка метода неразрушающего контроля «дефектоскопия» крупногабаритных узлов (межступенной отсек, обтекатель) изделий РКТ из полимерных композиционных материалов с сотовым наполнителем с целью повышения производительности, информативности и надежности контроля. Проведение экспериментальных исследований: отчет по НИР; рук. П. Н. Желтов, исп. О. Л. Серебренников. Днепропетровск: ОАО УкрНИИТМ, 2012. 41 с.
11. Allen J. Fawcett (ATF/DER), Gary D. Oakes (ATF). Boeing Composite Airframe Damage Tolerance and Service Experience. Boeing Commercial Airplanes, 787 Program.
12. Friedrich K. Polymer composites for tribological applications. *Adv. Industrial and engineering Polymer Research*. 2018. **1**, № 1. P. 3—39
13. Pat. 5646351 USA, Good M. S., Schuster G. J., Skorpik J. R. Ultrasonic Material Hardness Depth Measurement.
14. Kapadia A. Non Destructive Testing of Composite Materials. Best Practice Guide TWI Ltd National Composites Network.
15. Rose J. Achievements and prospects of development of the ultrasonic waveguide method of control. *Materials Evaluation*. 2010. **68**, № 5. P. 494—500.

Стаття надійшла до редакції 16.07.2020 ; після доопрацювання 15.04.2021

## REFERENCES

1. Aleshin N. P., Bobrov V. T., Lange Yu. V., Shcherbinskiy V. G. (2013). *Ultrasonic control*. Ed. V. V. Klyuyev. 2nd ed. M.: ID “Spectrum”, 224 p.
2. Barynin V. A., Budadin O. N., Kulkov A. A. (2013). Modern technologies of non-destructive testing of structures made of polymeric composite materials. M.: ID “Spectrum”, 242 p.
3. Emets V. V., Dron’ N. M., Kositsyna E. S. (2019). Estimation of the possibilities for using the solid hydrocarbon fuels in autophage launch vehicle. *J. Chemistry and Technologies*, **27**, No. 1, 58—64.
4. Malaychuk V. P., Mozgovoy A. V. (2005). *Mathematical defectoscopy*: Monograph. Dnepropetrovsk: “System technologies”, 180 p.
5. Murashov V. V. (2011). Inspection of multilayer glued structures made of polymer composite materials. *Adhesives. Sealants. Technologies*, No. 10, 16—23.
6. Ermolov I. N., Lange Yu. V. (2004). *Ultrasonic control*. Non-destructive testing. In 7 vol. Ed. V. V. Klyuev. M.: Mashinostroenie, Vol. 3, 864.
7. Development of a technical project for the installation of non-contact shadow non-destructive testing of large-sized PCM products with a high attenuation coefficient of ultrasonic vibrations. Testing and development of units of the experimental ultrasonic channel of the control installation at the laboratory bench in dynamic mode: Research report. P. N. Zheltov, O. L. Serebrennikov. Dnepropetrovsk: ОАО УкрНИИТМ, 2013. 37.
8. Kulyk O. V., Dzhur O. E., Khutoryny V. V., et al. (2014). Technology of production of rocket and space aircraft : textbook. Ed. E. A. Dzhur. Dnepropetrovsk: Art-Press, 480.



9. 'Experimental research and development of a method for non-destructive testing (flaw detection) of large-sized units (interstage compartment, fairing) of rocket and spacecraft products made of polymer composite materials with a honeycomb filling in order to increase productivity, information content and reliability of testing. Development of a control method: Research report. P. N. Zheltov, O. L. Serebrennikov. Dnepropetrovsk: OAO UkrNIITM, 2012. 37.
10. Experimental research and development of the method of non-destructive testing "flaw detection" of large-sized units (interstage compartment, fairing) of rocket-space vehicles made of polymer composite materials with a honeycomb filler in order to increase productivity, information content and reliability of control. Experimental research: Research report. P. N. Zheltov, O. L. Serebrennikov. Dnepropetrovsk: OAO UkrNIITM, 2012. 41.
11. Allen J. Fawcett (ATF/DER), Gary D. Oakes (ATF). Boeing Composite Airframe Damage Tolerance and Service Experience. Boeing Commercial Airplanes, 787 Program.
12. Friedrich K. (2018). Polymer composites for tribological applications. *Adv. Industrial and engineering Polymer Res.*, **1**, № 1, 3–39
13. Pat. 5646351 USA, Good M. S., Schuster G. J., Skorpik J. R. Ultrasonic Material Hardness Depth Measurement.
14. Kapadia A. Non Destructive Testing of Composite Materials. Best Practice Guide TWI Ltd National Composites Network.
15. Rose J. (2010). Achievements and prospects of development of the ultrasonic waveguide method of control. *Materials Evaluation*, **68**, № 5, 494–500.

Received 16.07.2020. Revised 15.04.2021

O. V. Kulyk<sup>1</sup> Ph. D. in Tech., Docent

General Director of Makarov National Aerospace Educational Center of Youth;  
Associate Professor at the Department of Technology of Aircraft Manufacturing at  
Physical and Technical Faculty of Oles Honchar Dnipro National University  
E-mail: Aleks.kulyk@gmail.com

P. N. Zheltov<sup>1</sup> Head of the Department of Scientific Research

E-mail: Zheltov.pn@gmail.com

S. V. Klymenko<sup>2</sup> Associate Professor at the Department of Radioelectronic Automation at  
Physical and Technical Faculty, Ph. D. in Tech.

E-mail: Klymenko.svetlana@gmail.com, klymenko@ftf.dnu.edu.ua

V. V. Chabanov<sup>3</sup> Director

<sup>1</sup>A. M. Makarova National Center for Aerospace Education of Youth  
26, Gagarin Ave., Dnipro, 49005 Ukraine

<sup>2</sup>Oles Honchar Dnipro National University  
72, Gagarin Ave., Dnipro, 49010 Ukraine

<sup>3</sup>Limited liability company «New cars»  
152, Lugovska Str., Dnipro, 49081 Ukraine

## AUTOMATED SYSTEM OF CONTACTLESS ULTRASOUND NONDESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF SOLID FUEL ROCKET ENGINES FROM COMPOSITE MATERIALS

Currently, in various industries (engineering, aircraft, energy, etc.) the issue of product quality assurance and control is particularly acute. This is due primarily to the ever-strengthening requirements for reliability growth with increasing loads on products, which entails the toughening of technical standards. The issue of quality control for rocket and space technology products is especially relevant. Modern power structures of rocket and spacecraft made of polymer composite materials, and especially the body of solid-fuel rocket engines (SFRE), are multilayer packages of various polymer-composite materials (PKM), obtained and interconnected in the process of manufacturing the body. The efficiency of SFRE depends on the quality of the formation of PKM in production conditions. The most important issues are the implementation of production quality control of composite structures, the reliability of control results, and the ability to automate the control process.

The article presents an automated system of non-contact ultrasonic non-destructive testing, which allows us to control the stability of the technological process of forming the composite material of the wall of the SFRE body and, if necessary, to adjust it. The probability of detecting zones of anomalous violation of the integrity of the wall material of the SFRE housing is carried out due to adaptive algorithms, digital systems of multilevel matrix processing, and optimal filtering of the received signals. The automated system of contactless ultrasonic non-destructive quality control of SFRE cases allows us to register conditions of scanning and control for a more visual representation of the defectogram in the expanded look of the case of a product in the course of control and when documenting its results. The presented results of work on the development of an automated system of non-destructive testing of the integrity of the buildings of the SFRE type "cocoon" confirm the possibilities of practical implementation in production.

**Keywords:** solid fuel rocket engine body, composite material, automated non-destructive testing system, non-contact ultrasonic testing method, flaw detector, information processing system.