

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

**Л.М. ЛОБАНОВ** (головний редактор),

**А.Я. Недосєка** (заст. гол. ред.),

**В.О. Троїцький** (заст. гол. ред.),

**Є.О. Давидов, С.А. Недосєка,**

**Ю.М. Посипайко,**

**І.Ю. Романова** (відповід. секретар)

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,  
м. Київ

**К. Драган**

Технологічний інститут повітряних сил,  
Варшава, Польща

**Я. Грум**

Люблянський університет, Словенія

**М.Л. Казакевич**

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського  
НАН України, м. Київ

**О.М. Карпаш, П.М. Райтер**

Івано-Франківський нац. техн. університет нафти і газу

**Л.І. Муравський, З.Т. Назарчук, В.Р. Скальський,**

**В.М. Учанін**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН  
України, м. Львів

**А.Г. Протасов, С.К. Фомічов**

НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

**А. Савін**

Національний інститут досліджень та розробок з  
технічної фізики, Ясси, Румунія

**В.О. Стороженко**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Г.М. Сучков**

Національний університет «Харківський політехнічний інститут»

**В.О. Стрижало**

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  
НАН України, м. Київ

**М.Г. Чаусов**

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України, м. Київ

**Засновники**

Національна академія наук України,

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ,  
Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

**Адреса редакції**

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

03150, Україна, м. Київ,

вул. Казимира Малевича, 11

Тел./факс: +38 (044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com/ukr/journals/dnkn

Свідоцтво про державну реєстрацію

КВ4787 від 09.01.2001

Журнал входить до переліку затверджених

Міністерством освіти і науки України видань  
для публікації праць здобувачів наукових ступенів за

спеціальностями 132, 151, 152.

Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

**Передплата 2021**

Передплатний індекс 74475.

4 випуски на рік (видається щоквартально).

Друкована версія: 960 грн. за річний комплект  
з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.

Електронна версія: 960 грн. за річний комплект  
(випуски журналу надсилаються електронною поштою  
у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера  
передплатника надається доступ до архіву журналу).

За зміст рекламних матеріалів  
редакція журналу відповідальності не несе.

## ЗМІСТ

Спільна навчально-наукова лабораторія зварювання та  
споріднених процесів ..... 3

## НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

*УЧАНІН В.М.* Оптимізація конструкції вихрострумowego  
перетворювача параметричного типу для виявлення  
поверхневих тріщин ..... 11

*УСОВ В.В., РАБКІНА М.Д., ШКАТУЛЯК Н.М., РИБАК Н.І.,  
ШТОФЕЛЬ О.О.* Застосування фрактального аналізу при  
діагностиці технічного стану елементів металоконструкцій ..... 22

*НЕДОСЄКА С.А., НЕДОСЄКА А.Я., ЯРЕМЕНКО М.А.,  
БОЙЧУК О.І., ОВСІЄНКО М.А.* Оцінка можливості засто-  
сування зміни розподілу параметрів акустичної емісії для  
удосконалення визначення стану матеріалів ..... 31

*КАЛЕНИЧЕНКО Ю.О., БАЖЕНОВ В.Г., РАЦЕБАР-  
СЬКИЙ С.С., КАЛЕНИЧЕНКО О.Г.* Автоматизований  
неруйнівний контроль мікроструктури сталевих сплавів  
на базі багаточастотного вихрострумowego методу ..... 39

*РЕДЬКА М.О., КУЦ Ю.В., ШАПОВАЛОВ Є.В., УЧАНІН В.М.,  
ЛИСЕНКО Ю.Ю., БЛИЗНЮК О.Д.* Застосування фазових  
характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумовой  
дефектоскопії ..... 45

## ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

*DAHLSTROM R.* Літаючі роботизовані контактні ультразву-  
вові товщиноміри для технічних обстежень в польових  
умовах ..... 54

## ІНФОРМАЦІЯ

З.Т. Назарчуку – 70 ..... 60

Дати, події, факти з історії технічного контролю ..... 61

Видання журналу підтримують:

Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики,  
Технічний комітет стандартизації «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» ТК-78,  
Асоціація «ОКО»

**EDITORIAL BOARD**

**L.M. Lobanov** (Editor-in-Chief),

**A.Ya. Nedoseka** (Deputy Editor-in-Chief),

**V.O. Troitskiy** (Deputy Editor-in-Chief),

**Ie.O. Davydov, S.A. Nedoseka,**

**Yu.M. Posypaiko,**

**I.Yu. Romanova** (execut. secretary)

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv

**Krzysztof Dragan**

Air Force Institute of Technology, Warsaw, Poland

**Janez Grum**

University of Ljubljana, Slovenia

**M.L. Kazakevich**

L.V. Pisarzhevskii Institute of Physical Chemistry  
of NAS of Ukraine, Kyiv

**O.M. Karpash, P.M. Raïter**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**L.I. Muravsky, Z.Th. Nazarchuk, V.R. Skalskiy, V.M. Uchanin**  
Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS  
of Ukraine, Lviv

**A.G. Protasov, S.K. Fomichov**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute»

**Adriana Savin**

National Institute of R & D for Technical Physics,  
Iasi, Romania

**V.O. Storozhenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

**H.M. Suchkov**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Ukraine

**V.O. Stryzhalo**

G.S. Pisarenko Institute for Problems  
of Strength of NAS of Ukraine, Kyiv

**M.G. Chausov**

National University of Life and Environmental Sciences  
of Ukraine, Kyiv

**Founders**

National Academy of Sciences of Ukraine,

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine,  
International Association «Welding» (Publisher)

**Address**

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine

03150, Ukraine, Kyiv, 11 Kazymyr Malevych Str.

Tel./Fax: +38 (044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tdnk

The Journal is included in the list of publications approved  
by the Ministry of Education and Science of Ukraine  
for the publication of works of applicants for academic degrees  
in specialties 132, 151, 152.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Certificate of state registration

of KB 4787 dated 09.01.2001

**Subscription 2021**

Subscription index 74475.

4 issues per year (issued quarterly), back issues available.

\$72, subscriptions for the printed (hard copy) version,  
air postage and packaging included.

\$60, subscriptions for the electronic version  
(sending issues of Journal in pdf format  
or providing access to IP addresses).

The editorial board is not responsible  
for the content of the promotional material.

**CONTENT**

Joint Training-Scientific Laboratory for Welding and Related  
Processes ..... 3

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL**

*UCHANIN V.M.* Optimization of the design of eddy current  
probe of parametric type to detect surface cracks ..... 11

*USOV V.V., RABKINA M.D., SHKATULYAK N.M., RYBAK N.I.,  
STOFEL O.O.* Application of fractal analysis in diagnostics of  
technical condition of metal structure elements ..... 22

*NEDOSEKA S.A., NEDOSEKA A.YA., YAREMENKO M.A.,  
BOICHUK O.I., OVSIENKO M.A.* Evaluation of the possibility  
of applying a change in the distribution of acoustic emission  
parameters to improve determination of material state ..... 31

*KALENYCHENKO Yu.O., BAZHENOV V.G.,  
RATSEBARSKIY S.S., KALENYCHENKO O.G.* Automated  
non-destructive testing of steel alloys microstructure based  
on multifrequency eddy current method ..... 39

*REDKA M.O., KUTZ Yu.V., SHAPOVALOVA V., UCHANIN V.M.,  
LYSENKO Yu.Yu., BLIZNYUK O.D.* Application of phase  
characteristics of the signal in automated eddy current flaw  
detection ..... 45

**INDUSTRIAL**

*DAHLSTROM R.* Aerial robots for contact-based ultrasonic  
thickness measurements for field inspections ..... 54

**INFORMATION**

Z.T. Nazarchuk is 70 ..... 60

Dates, events, facts in the history of technical non-destructive  
testing ..... 61

JOURNAL PUBLICATION IS SUPPORTED BY:

Ukrainian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostic,  
Technical Committee on standardization «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing» TC-78,  
Association «OKO»

## СПІЛЬНА НАВЧАЛЬНО-НАУКОВА ЛАБОРАТОРІЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНИХ ПРОЦЕСІВ

Сучасні умови розвитку прогресивних технологій потребують інтеграції певних процесів для одержання нової якості продукції. Базовою умовою таких інтеграційних процесів є поєднання наукового досвіду дослідників, які працюють в різних наукових підрозділах над близькими задачами. Такий підхід дозволяє більш повно аналізувати та розв'язувати проблеми, що постають перед дослідниками через невинний плин науково-технічного прогресу.

Необхідність поєднання зусиль науковців при вирішенні задач плазмового і гібридного зварювання та адитивних дугових технологій постала вже досить давно. Кілька десятиріч тому ця необхідність призвела до інтенсивного розвитку й розгалуженню діяльності Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Проте сучасні реалії потребують пошуку нових підходів. У 2017 р. основа для їх створення була знайдена. За ініціативою Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та при підтримці академіка Б.Є. Патона п'ять науково-технічних організацій взяли участь у створенні спільної навчально-наукової лабораторії зварювання та споріднених процесів. До складу засновників увійшли:

- Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України;
- Зовнішньо-економічне представництво Китайсько-українського інституту зварювання ім. Є.О. Патона;
- Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- ТОВ «Науково-виробничий Центр «ПЛАЗЕР»;
- Корпорація «Укрспецтехнології».

Створення спільної навчально-наукової лабораторії, при підтримці академіка Б.Є. Патона, було юридично оформлено угодою про співробітництво №2500/17-0 від 13.06.2019.

Мета створення лабораторії – побудова науково-технологічної експериментальної бази колективного користування із залученням найбільш передового обладнання для проведення науково-дослідних робіт в галузях плазмових, лазерних і гібридних технологій зварювання та споріднених процесів, адитивних технологій, дифузійного зварювання та паяння.

Для досягнення цієї мети планується вирішення наступних завдань:

1. Створення нових форм науково-технічної кооперації шляхом об'єднання створення наукової експериментальної бази колективного користування із залученням сучасного обладнання для проведення науково-дослідних робіт в галузях передових технологій зварювання та споріднених процесів із використанням матеріально-технічної бази науково-дослідних, учбових та науково-виробничих організацій.

2. Залучення інвестицій, в тому числі від іноземних партнерів.



Головний корпус НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського



Головний корпус Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона

3. Розширення міжнародного науково-технічного співробітництва та співробітництва між науково-дослідними установами і промисловими підприємствами в Україні, залучення провідних українських та міжнародних вчених і спеціалістів до участі в науково-технічних розробках.

4. Виховання наукових кадрів, залучення студентів закладів вищої освіти України бакалаврського, магістерського та Ph-D рівнів навчання до участі в реальних науково-технічних та виробничих проєктах.

В даний час структура спільної лабораторії включає дві експериментально-технологічні площадки: «Плазмове і гібридне зварювання та адитивних дугових технологій» (Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона КПІ імені Ігоря Сікорського) та «Демонстраційно-технологічна дільниця плаз-

мових, гібридних та адитивних технологій» (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, ТОВ «Науково-виробничий Центр «ПЛАЗЕР», Зовнішньо-економічне представництво Китайсько-українського інституту зварювання ім. Є.О. Патона). Науковий керівник спільної лабораторії – чл.-кор. Національної академії наук України, д-р техн. наук професор В.М. Коржик.

В рамках Угод про співробітництво, укладених із Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, вказана спільна лабораторія є базою для міжнародного науково-технічного співробітництва із Науково-дослідним інститутом зварювальних технологій в провінції Чжецзян (КНР) та Чжецзянським науково-дослідним Інститутом спеціального обладнання (КНР).



Рис.1. Зовнішній вигляд вакуумної камери (а) та плазмотрону (модель (б) і виготовлений за нею зразок (в)) для зварювання плазмове-емісійним розрядом у вакуумі



Рис.2. Головка (а) з плавким електродом для адитивного вирощування деталей із внутрішніми ребрами жорсткості (б, в)

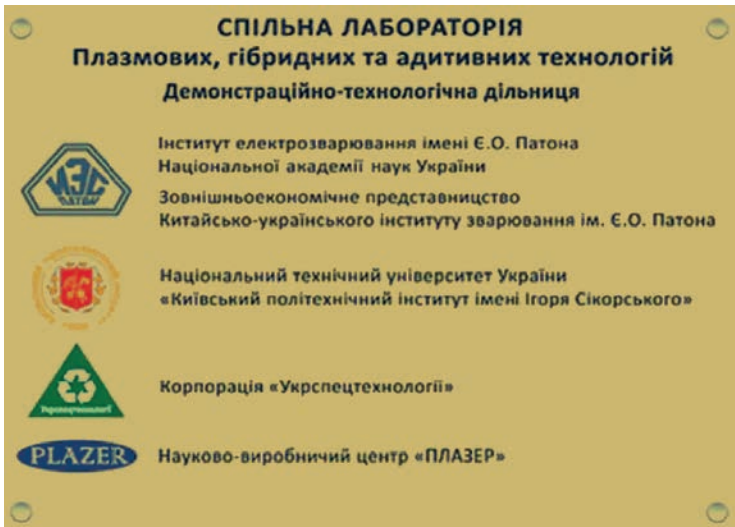


Рис. 3. Макет титульної дошки демонстраційно-технологічної дільниці та її відкриття міжнародним науково-дослідним колективом

В Лабораторії плазмового і гібридного зварювання та адитивних дугових технологій проводяться дослідження по розробці та подальшому розвитку таких прогресивних процесів, як:

- зварювання плазмово-емісійним розрядом постійним струмом прямої полярності порожнинним катодом у вакуумі;
- дифузійне зварювання у вакуумі;
- паяння у вакуумі;
- адитивне вирощування деталей за допомогою плавкого електрода.

Для виконання досліджень створено комплекси відповідного вакуумного обладнання (рис.1). Дослідження плазмово-емісійного розряду (плаз-

мо-дугового розряду з порожнинним катодом) у вакуумі довели можливість його успішного використання при зварюванні титанових сплавів товщиною до 16 мм без розробки крайок. При цьому одержані шви за якістю і продуктивністю виконання наближаються до результатів, отриманих електронно-променевим зварюванням при значно меншій собівартості.

Також в даному підрозділі спільної лабораторії досліджується адитивне вирощування деталей за допомогою плавкого електрода. Зокрема, розроблюються технології виготовлення металевих деталей складної просторової форми із внутрішніми ребрами жорсткості (рис.2).



Рис. 4. Одне з лабораторних приміщень демонстраційно-технологічної дільниці

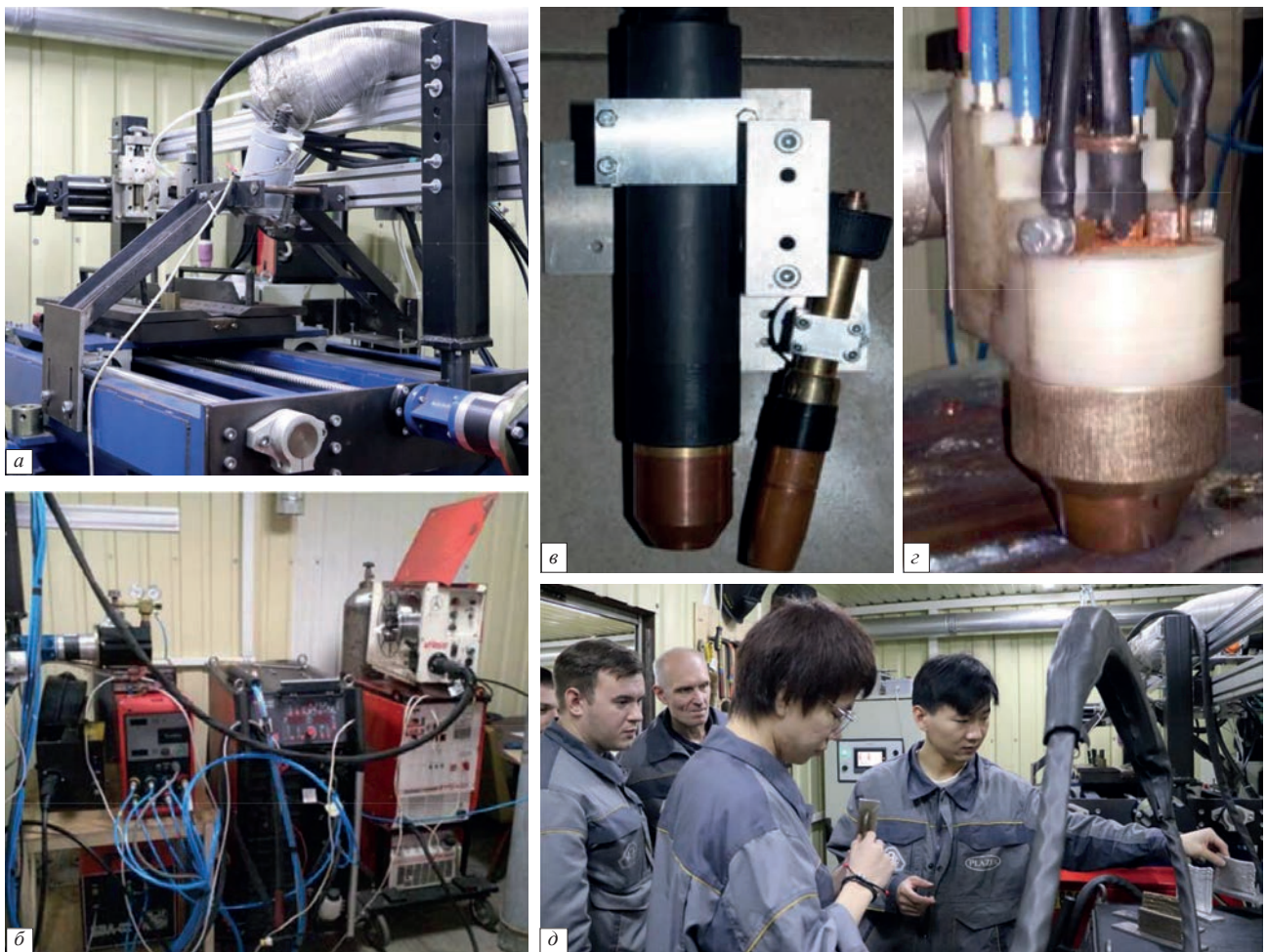


Рис. 5. Універсальний технологічний комплекс плазмово-дугових та гібридних технологій, автоматичного комбінованого і гібридного зварювання «плазма + дуга плавкого електрода»: а – маніпулятор для зварювання в різних просторових положеннях; б – зварювальне обладнання; в – моноблок комбінованого Plasma+MIG/MAG зварювання; г – плазмотрон для гібридного Plasma-MIG/MAG зварювання; д - ознайомлення з обладнанням та технологією іноземних партнерів в рамках міжнародного науково-технічного співробітництва

На Демонстраційно-технологічній дільниці плазмових, гібридних та адитивних технологій (рис.3) виконується розробка таких технологій, як:

- роботизоване шовне і точкове плазмове зварювання постійним струмом прямої полярності;
- роботизоване шовне і точкове плазмове зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
- роботизоване (автоматизоване) плазмово-порошкове наплавлення постійним струмом прямої полярності та різнополярним асиметричним струмом (для алюмінієвих та магнієвих сплавів);
- роботизоване (автоматизоване) зварювання в режимі «м'яка плазма» постійним струмом прямої полярності та різнополярним асиметричним струмом (для алюмінієвих та магнієвих сплавів);
- роботизоване (автоматизоване) зварювання та наплавлення за допомогою процесу зварювання плавким електродом із короткими замиканнями (СМТ - Cold Metal Transfer);
- роботизоване (автоматизоване) аргонодугове зварювання постійним струмом прямої поляр-

ності та різнополярним асиметричним струмом (для алюмінієвих та магнієвих сплавів);

- лазерне зварювання в контрольованій атмосфері та в динамічному вакуумі;
- роботизоване (автоматизоване) лазерне різання і зварювання;
- гібридні процеси зварювання (плазма-MIG/MAG, плазма-TIG, лазер-плазма, лазер-MIG/MAG, лазер-TIG);
- гібридне лазерно-плазмове різання;
- плазмове різання на зворотній полярності металевих листів підвищених товщин;
- плазмове різання із різними типами плазмутворюючих газів і з добавкою води;
- надзвукове плазмове порошкове напилювання покриттів;
- високошвидкісне плазмово-дугове напилювання покриттів струмопровідними дротами;
- високошвидкісне електродугове дводротове напилювання покриттів із активацією вуглеводневими газами;

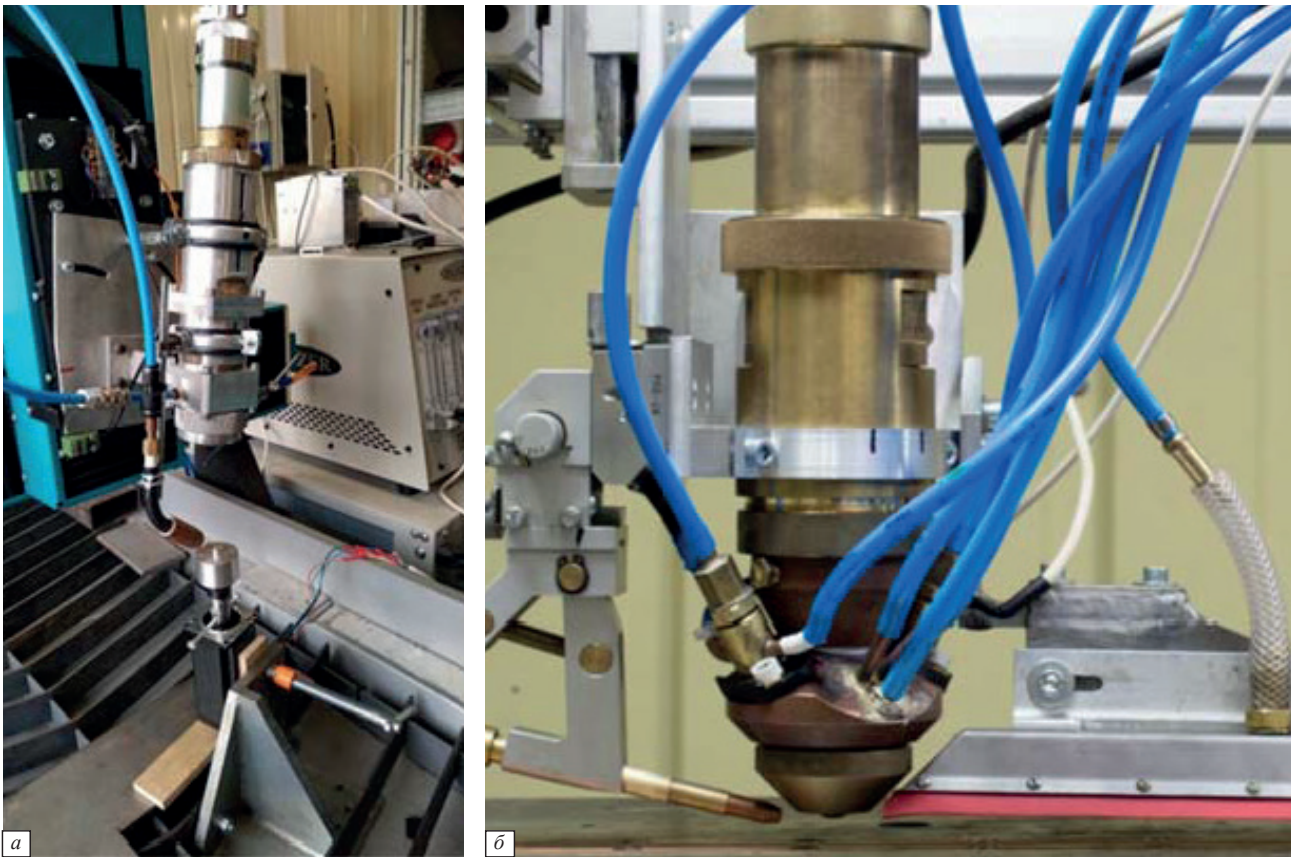


Рис. 6. Створені в спільній лабораторії головки для лазерного (а) і гібридного лазерно-плазмового зварювання (б)

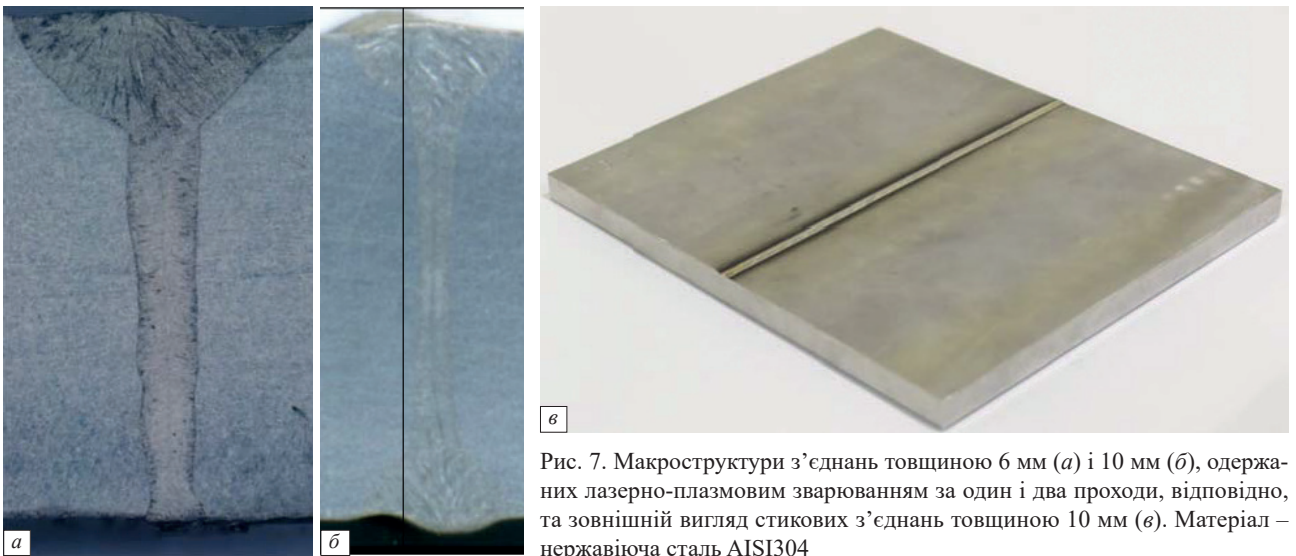


Рис. 7. Макроструктури з'єднань товщиною 6 мм (а) і 10 мм (б), одержаних лазерно-плазмовим зварюванням за один і два проходи, відповідно, та зовнішній вигляд стикових з'єднань товщиною 10 мм (в). Матеріал – нержавіюча сталь AISI304

- гібридне надзвукове електродугове-газополуменеве двохдротове напилювання покриттів;
- надзвукове газополуменеве напилювання покриттів порошками та дротами (HVOF);
- плазмові технології сферодизації порошоків;
- вирощування тривимірних виробів адитивним пошаровим мікроплазмовим, плазмовим та дуговим наплавленням (3D-друк).

Для дослідження зазначених технологій наявні відповідні лабораторні приміщення із необхідним технологічним обладнанням (рис. 4). Також передбачено офісні приміщення, сучас-

ний конференц-зал з можливістю проведення он-лайн конференцій, ділянки механічної обробки з фрезерним і токарним верстатами, побутові та складські приміщення тощо. Зокрема, демонстраційно-технологічна дільниця плазмово-дугових та гібридних технологій була сертифікована Сертифікатом на систему менеджменту якості ISO 9001:2015.

Окремо слід відмітити інноваційні гібридні технології, що розробляються на демонстраційно-технологічній дільниці. Так, розроблені обладнання і технології автоматичного та роботи-



Рис. 8. Універсальний технологічний комплекс лазерного та гібридного лазерно-плазмового різання



Рис. 9. Комплекс для лазерного, мікроплазмового і лазерно-мікроплазмового зварювання в контрольованій атмосфері та в динамічному вакуумі





Рис. 10. Зовнішній вигляд установки (а) і процесу (б) мікроплазмового 3D-друку порошковими матеріалами

зованого комбінованого (Plasma+MIG/MAG) і гібридного (Plasma-MIG/MAG) зварювання стисненою дугою неплавкого електрода із дугою плавкого електрода дозволяють з'єднувати листи алюмінієвих сплавів товщиною до 16 мм за один прохід, мінімізувати схильність до утворення внутрішніх пор в швах, підвищувати продуктивність зварювання за рахунок усунення операції розробки крайок, підвищувати швидкість зварювання до 2 разів порівняно із традиційним MIG/MAG-зварюванням (рис. 5).

Створене в спільній лабораторії обладнання і технології лазерного та гібридного лазер-

но-плазмового зварювання дозволяють одержувати з'єднання сталей і сплавів з високою термічною локальністю і швидкістю зварювання. Яскравим прикладом досягнень в галузі лазерно-плазмового зварювання є одержання одно- і двопрхідних стикових з'єднань нержавіючої сталі AISI304 товщиною 6 і 10 мм, відповідно, зі швидкістю 60 м/год. при використанні потужності випромінювання волоконного лазера 1,8 кВт (рис. 6, 7).

До перспективних технологічних розробок, створених на базі спільної лабораторії, можна віднести універсальний технологічний ком-



Рис. 11. Обладнання для реалізації плазмово-дугових технологій нанесення покриттів та обробки матеріалів: а – універсальний технологічний комплекс плазмово-дугового напилювання та різання; б – дослідна установка для плазмово-дугової сферодизації дротових матеріалів та прутків і порошоків неправильної форми



Рис. 12. Ознайомлення директора ІЕЗ ім. С.О. Патона академіка НАНУ І.В. Кривцуна з можливостями спільної лабораторії

плекс лазерного і гібридного лазерно-плазмового різання (рис. 8), лазерного, мікроплазмового і лазерно-мікроплазмового зварювання в контрольованій атмосфері та в динамічному вакуумі (рис. 9), установку (3D-принтер) для 3D-друку порошковим мікроплазмовим пошаровим наплавленням (рис. 10).

Наразі активно продовжуються роботи по розробці та індустріалізації плазмово-дугових технологій напилювання покриттів та обробки матеріалів, отримання сферичних порошоків плазмово-дуговим розпилуванням дротів та прутків, плазмово-дугова сферодизація порошоків неправильної форми. З цією метою створено необхідне обладнання і технологічна база (рис. 11).

Після відкриття спільної лабораторії її демонстраційно-технологічну дільницю відвідали провідні співробітники НАН України, зокрема, академіки НАНУ І.В. Кривцун і Л.М. Лобанов (рис. 12). Ними було схвалено технічне оснащення лабораторії та надано високу оцінку науково-технічним розробкам, що в даний час проводяться її співробітниками. В подальшому плануються відвідання спільної лабораторії делегаціями закордонних науковців і менеджерів, які

мають зацікавленість у науковому співробітництві та промислового впровадженні розроблених технологій.

Керівництво спільної лабораторії пропонує застосування описаного передового інноваційного обладнання усіма бажаними науковими дослідниками, студентами і аспірантами. Дослідження можуть проводитися як в межах спільних проєктів, так і за окремими договорами. Одним з завдань є навчання студентів та аспірантів. Лабораторія радо відчиняє двері не лише вітчизняним учням, але й закордонним – усім бажаним підвищити власну кваліфікацію в рамках виконання спільних проєктів та програм. Для цього можуть бути задіяні як спеціалісти лабораторії, так і сторонні спеціалісти. Останні можуть залучатися на окремо встановлених засадах. В цілому, спільна навчально-наукова лабораторія побудована як науково-технологічна експериментальна база колективного користування. Накопичений передовий досвід і наявне інноваційне обладнання спрямовані для залучення в проведенні науково-дослідних робіт в галузях передових технологій зварювання та споріднених процесів.

В.М. Коржик<sup>1</sup>, В.В. Квасницький<sup>1,2</sup>, В.Ю. Хаскін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут електрозварювання ім. С.О. Патона НАН України,

<sup>2</sup>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

# AERIAL ROBOTS FOR CONTACT-BASED ULTRASONIC THICKNESS MEASUREMENTS FOR FIELD INSPECTIONS

## ЛІТАЮЧІ РОБОТИЗОВАНІ КОНТАКТНІ УЛЬТРАЗВУКОВІ ТОВЩИНОМІРИ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

by Robert (Bob) Dahlstrom

Aerial robotic systems, also referred to as drones, enable the collection of data on a scale and scope heretofore unimaginable. Field inspections at industrial sites using an aerial robotic inspection system that makes physical contact with a structure or asset as part of a nondestructive testing (NDT) or nondestructive evaluation (NDE) routine is safer than placing humans at elevation and enables more data to be gathered in less time. These aerial robotic systems are highly extensible and agile enabling safer, faster, and better inspections. Robotic inspection systems are forecast to grow exponentially this decade and beyond, as asset owners and service providers realize their economic value creation, increased data collection, and safety contributions. One early use case of these aerial robotic systems measures wall thickness (in other words, the thickness of a substrate) with a hand-held electronic ultrasonic testing (UT) measurement device (see Figure 1). Selected and implemented properly, these systems positively impact safety, time, analytics, access, and cost. Companies looking to keep personnel out of danger at height or in potentially hazardous locations can adopt aerial robotic systems. What is measured is known and we can make predictions based on these measurements. These UT thickness measuring aerial robotic systems enable companies to improve the UT thickness measurement process and gather data that didn't exist before, thus adding to the body of knowledge. The systems can also bring massive efficiencies to the job, including a full auditable data record and information for digital implementation plans, allowing focus on the overall picture to plan and budget accordingly. Further, they help achieve substantial cost savings, particularly when they prevent an asset from being taken out of service or enabling an asset to be returned to service sooner. Finally, they are an elegant safety solution, moving workers from harm's way and potentially saving lives.

Літаючі роботизовані системи, також відомі як дрони, забезпечують можливість збору даних для кола застосувань і обсягів, які досі були неможливими. Виконання польових обстежень промислових об'єктів з використанням літаючої роботизованої системи контролю, здатної забезпечити фізичний контакт з конструкцією або об'єктом під час виконання процедур неруйнівного контролю (NDT) або обстежень технічного стану (NDT), є безпечнішим, ніж розміщення людей на висоті, і дозволяє зібрати більше даних за менший час. Ці повітряні роботизовані системи є універсальними, розширюваними та гнучкими, що дає змогу здійснювати безпечніші, швидші та якісніші вимірювання. У цьому десятиріччі і в подальшому очікується еспоненціальне зростання роботизованих систем контролю, оскільки власники активів і постачальники послуг усвідомлюють їх економічну рентабельність, вкладу в розширення інформаційних ресурсів, а також у підвищення безпеки. Один з перших випадків використання цих повітряних робототехнічних систем дозволяв вимірювати товщину стінки (точніше, товщину підкладки) за допомогою портативного електронного ультразвукового вимірювального пристрою (UT). Вибрані та впроваджені належним чином, ці системи позитивно впливають на безпеку, час, аналітику, доступ та вартість. Вимірювання надають відомості, які є основою наших прогнозів. Ці повітряні роботизовані системи для вимірювання товщини UT дозволяють компаніям удосконалювати процес вимірювання товщини UT і збирати дані, яких раніше не існувало, таким чином доповнюючи знання. Системи також здатні підвищити ефективність роботи, включаючи повністю контрольовані протоколи та інформацію для цифровізації планів впровадження, дозволяючи зосередитися на загальній картині для планування та відповідного бюджету. Крім того, вони допомагають досягти значної економії витрат, особливо коли вони запобігають виведенню активу з експлуатації або сприяють скорішому поверненню активу в експлуатацію. Нарешті, вони є елегантним рішенням щодо безпеки, яке захищає працівників від небезпеки та потенційно рятує життя.

### Introduction

For corrosion or other engineers to take UT thickness measurements at height they may need to utilize a lift, scaffolding, ladders, inspection trucks with elevated baskets, rope work, catwalks, or other solutions. Companies looking to keep personnel out of danger at height or in potentially hazardous locations can adopt aerial robotic systems. However, as with many things, choosing the right system for the job is essential for optimal results.

While NDT field inspection programs can dramatically increase the safety and integrity of assets, ac-

cess requirements in performing these inspections in elevated areas introduces risk. Working at height is dangerous, due to the possibility of falls, as well as being time-consuming due to access setup. In certain instances, it may also require taking an asset, such as a flare stack, offline so it can be accessed to take measurement readings. Utilizing an aerial robotic system for UT thickness measurements can mitigate these risks and potentially eliminate asset downtime.

Drones are commonly used for visual inspections, but it is rare to find them used for contact-based inspections. Researchers have investigated using drones

for contact-based NDT (Skaga 2017; Mattar 2018), yet these studies tend to be theoretical and conceptual. The contact-based UT thickness measurement drone system presented in this paper is in commercial use and differs from those in the literature in its computer-controlled precision flight while making contact with a structure (using no human pilot/operator), and in that it utilizes the same handheld UT electronic measurement devices that a corrosion or other engineer uses in the field integrated onboard the aircraft with the data streamed live to the engineer or observer on the ground.

Further, because these systems are «flying computer» and data-gathering machines, they collect a large amount of data for NDT/NDE. This data can feed NDE 4.0, which is a force multiplier for inspecting, testing, and evaluating industrial assets for their safety, operational effectiveness, and efficacy. NDE 4.0 uses the tools of Industry 4.0—machine learning, artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data, and so on—to expand and generate knowledge, insights, and understandings that turn data gathered from industrial field inspections, into actionable information to enhance and extend knowledge-based information-driven decision making. These aerial robotic systems help with both the increasing importance of digitalization of assets and data and the use of NDE 4.0 by making it easier to collect information.

### Aerial Robotic Measurement Collection Methodology

Having a computer-controlled heavy-lift multirotor drone outfitted with various sensors and functions



Photo credit: DeFelsko Corp.

Figure 1. An example of a handheld electronic UT measurement device with a single-element 5 MHz contact transducer.

Рис. 1. Приклад портативного електронного вимірювального пристрою UT з одноелементним контактним перетворювачем 5 МГц

to allow precisely controlled flight close to structures is critical in taking contact-based UT thickness measurements (see Figure 2). Manual control of such systems is unable to accomplish the precise flying and maneuvers required; thus, software-controlled flight is crucial. The aerial robotic system in this paper utilizes existing UT electronics and digital probes to gather measurements. The handheld electronic UT thickness measurement device onboard the aircraft streams all the data (not just what is displayed on the LED view screen) to the computer onboard the aircraft and the pilot and corrosion engineer on the ground.

The system works as follows:

The tethered (for power and data transfer) or untethered (battery power and wireless data) aerial robotic system is located close to the structure where UT thickness measurements are to be taken.

The corrosion engineer, using a computer tablet, opens the software interface to begin the test and enters the job information (operator, job name, upper and lower limits for measurements, etc.) and standardizes the handheld UT thickness measurement device that is mounted onboard the aircraft, as per the definition of standardization provided by ASTM 1316 (ASTM 2021).

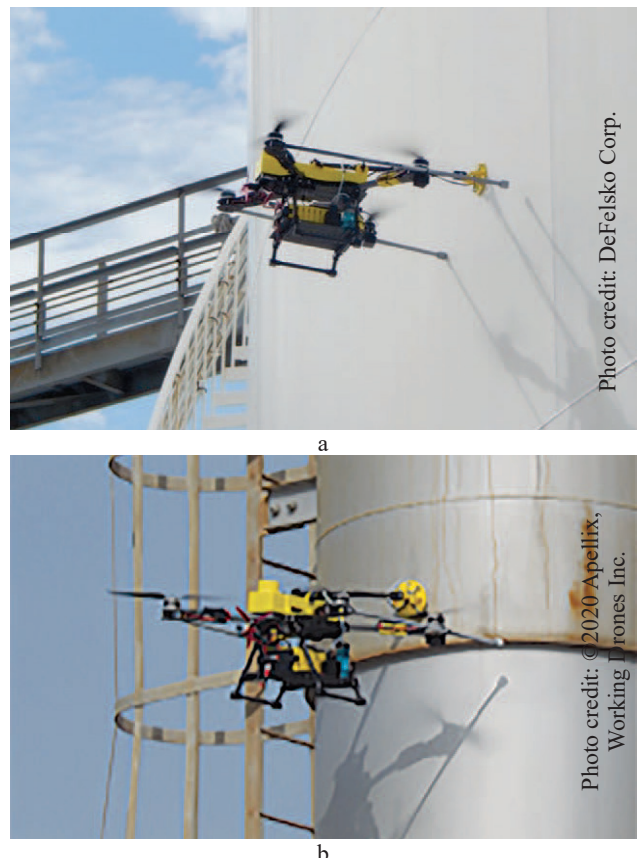


Photo credit: DeFelsko Corp.

Photo credit: ©2020 Apellix, Working Drones Inc.

Figure 2. Ultrasonic thickness measurement system in action: (a) on an in-service aboveground storage tank; (b) on an in-service active flare stack.

Рис. 2. Робота ультразвукової системи товщинометрії на діючому обладнанні: (а) наземний резервуар; (б) активна факельна труба

The pilot engages the aerial robotic system’s software and the system takes off vertically to approximately 2 m (6.5 ft) in height, hovers, and completes self-checks.

The pilot then uses a standard handheld radio frequency transmitter to manually fly the system close to the where the UT thickness measurement is to be taken (the «gate» or «window»). (The radio transmitter is the standard operations control for the aircraft. Its sole use in this case is for positioning the aircraft close to the area where the thickness measurements are to be taken. It is also on standby in case manual operational flight controls are needed; for example, in case of a failure of the software).

Once the aerial robotic system is within the «gate» (~2 m [6.5 ft] from the target part of the structure), the pilot selects «start» on the software interface.

The system then operates under full computer control (no manual input). It flies in (while dispensing couplant gel onto the probe), touches the surface, and takes a UT thickness measurement reading, typically taking 1 to 4 s. The aircraft then backs away, and the pilot repositions the system at the next location and repeats the process for additional measurements at different corrosion monitoring locations (CMLs).

The corrosion engineer sees the data on their computer tablet in real time.

After landing, the operator has the option to download the full data record which includes all the UT thickness readings, high-definition (HD) video, and additional information such as locational coordinates and weather and environmental data (see Figure 3). The data is also made available in a secure data repository accessible via the Internet. The system is agile and motile, enabling it to take a lot of readings in a short amount of time. Depending on the condition and geometric complexity of the asset being measured as well as environmental and weather conditions, the system can take measurements at up to a few hundred contact locations per hour.

**Aerial Robotic System UT Thickness Measurement Technology**

UT thickness measurements require the application of a couplant gel to the measurement probe tip prior to taking a reading. Thus, the end effector at the terminus of the robotic arm has a mechanism to dispense the couplant prior to each contact with a structure (see Figure 4). There is a reservoir of couplant gel on the aircraft with a pump and motor connected to a small-diameter tube that runs the length of the robotic arm and attaches to the end effector. The onboard computer, via the embedded software programming, signals the pump to push the couplant to the couplant injection point at a short time interval prior to making contact with a structure to take a UT thickness measurement.

Onboard the aircraft is also the handheld electronic UT thickness measurement device with a single-

or dual-element contact transducer capable of taking echo-to-echo ultrasonic thickness measurements. The device is plugged into the onboard computer for power and data transfer. The full data record is transmitted during its use, not just what is set to display

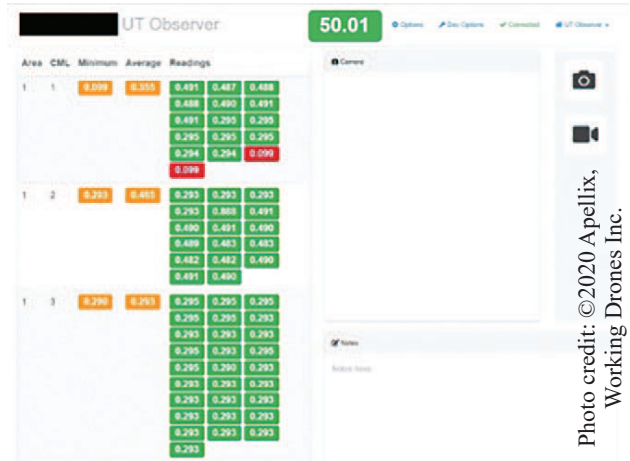
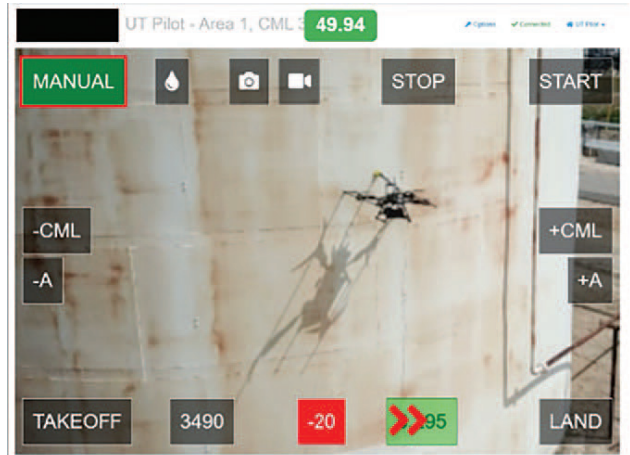


Photo credit: ©2020 Apellix, Working Drones Inc.

Figure 3. An example of the screen views that are streamed live to the computer tablets held by the pilot/system operator and observer (corrosion engineer or NDT technician): (a) live video stream; (b) data report.

Рис. 3. Приклад скріншотів з відео в реальному часі на комп’ютерних планшетах пілота/оператора системи та спостерігача (інженер-корозіоніст або технік НК): (а) відео в режимі онлайн; (б) протокол вимірювань

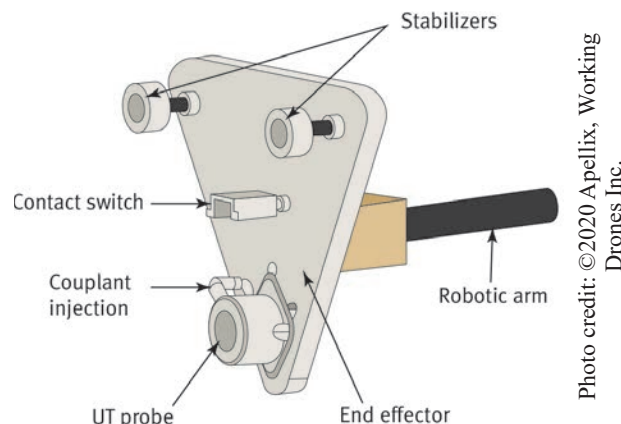


Photo credit: ©2020 Apellix, Working Drones Inc.

Figure 4. The robotic end effector that dispenses the couplant gel. Рис. 4. Кінцева насадка робота для подачі контактного гелю

on the device LED screen. The system uses a Wi-Fi router to connect with the onboard computer which, among other things, allows the aircraft to communicate with the pilot and the corrosion engineer on the ground, enabling it to display data in real time. The aircraft also has an onboard HD camera and may include a «gas sniffer», which records concentrations of various gas levels and notifies the system operators if certain thresholds of gas are detected. All the data from the onboard computer is saved to a memory card/USB flash drive. The data is also made available in a secure cloud-based repository with the ability to create charts, graphs, download data, and so on.

**Example Use Case**

Recently the aerial robotic system described in this paper was utilized at an in-service gas refinery in the southwestern United States. The NDT engineering company provided guidance as to the areas of concern where UT thickness measurements were required on behalf of the asset owner. These CMLs were pointed out to the aircraft system pilot by the NDT engineering company personnel. Representatives of the asset owner were onsite during the flights. The job was completed without tethered ground power to the aircraft. The total time from initial takeoff to final landing, including landings to change batteries, was under 90 min and multiple readings were obtained from more than 100 separate content monitoring locations. Weather on the date of testing was partly cloudy with winds ranging from 5 to 15 mph, generally from the east/northeast. The system is not recommended for use in winds over 20 mph (15 knots). The ambient temperature ranged from 80 to 90 °F (26 to 32 °C) over the course of the morning. The UT thickness measurements would have been postponed had there been weather conditions such as high winds or rain.

A total of 104 CMLs were successfully sampled from 112 attempts. In eight of the 112 instances, no valid data was obtained, typically because of a wind gust or other disruption to the flight. In almost all the successful locations, multiple measurements were obtained. From the total of 535 measurements at 104 locations, the minimum (lowest) recorded wall thickness measurement is reported for the individual location. Data is stored in the onboard computer and relayed in real time to the computer tablet of the engineers on the ground. A separate simplified data stream is presented to the aircraft pilot. Location data is tracked using cameras located on the ground and on the aircraft. During flight, an HD video was recorded for post-flight analysis and use. Referring to Figure 5 showing an annotated photo of one side of the flare stack, you will notice there is a cluster of readings in a section approximately two-thirds of the way up and to the left. This section was an area of concern to the asset owner and engineering NDT company. It was

theorized the metal thickness in this area might have been thinner than the other areas of the stack, indicating it was corroding more quickly than the asset in general. Multiple UT thickness readings were taken at this area. Due to privacy issues, the thickness readings cannot be shared or published. That said, thickness measurement data was consistent with previously obtained measurements taken by engineers using handheld electronic measurement devices utilizing lifts while the asset was out of service (Dahlstrom 2020).

The flare is approximately 68 ft (20.7 m) tall with a catwalk at about 55 ft (16.8 m). Sections from approximately 8 ft (2.4 m) above the ground to approximately 4 ft (1.2 m) below the catwalk were tested. A ladder obstructed the ability to take measurements on the southwest and west side of the stack, and a vertical pipe rack obstructed measurements on the northeast corner of the stack. During the course of the flights, the engineers had access to the user interface that streamed the UT thickness reading measurements in real time.

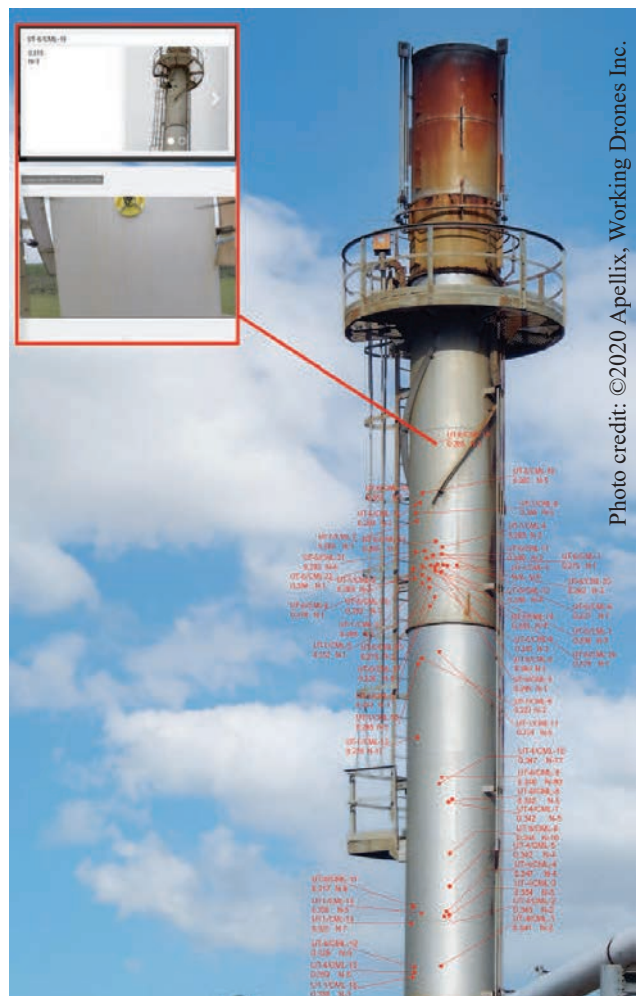


Figure 5. An example of the data obtained from a section of an in-service flare stack (note all numbers and values are illustrative).

Рис. 5. Приклад візуалізації даних, отриманих на секції діючої активної факельної труби (примітка: всі числа та значення є ілюстративними)

**Additional Data**

In addition to the UT thickness data collected during the flight of the aerial robotic UT system, HD video was recorded, as were still photos of the UT probe tip in contact with the flare stack as the UT thickness reading was being collected (see Figure 6).

In addition to the snapshot photos taken for each measurement location from onboard the aircraft and the snapshot of the aerial robotic system making contact with the flare stack from the camera on the ground, a full HD video from onboard the aircraft was recorded. This video is provided to the client for their use; for example, to review it for visual areas of corrosion or to look for surface areas of concern. Localization data is included; however, as GPS signals are not accurate, especially when flying close to structures, it is not precise enough for use to match CMLs on the physical geometry of the structure.

Data gathered from HD cameras can include visual, multispectral, and other imaging data. Further, additional information can be collected from sensors and devices placed in physical contact with surfaces. As NDE 4.0 is data driven, industrial inspection robotic systems are perfect for enabling it and affording its benefits.

Capabilities that these aerial robotic systems make available for NDE 4.0 include aerographic services that utilize 3D and other computer vision; various AI, machine vision, computational geometry, simultaneous localization and mapping (SLAM); live 3D point clouds; stereoscopic real-time video photogrammetry; and other technology innovations. This would include mature and emerging technologies such as the use of AI, machine learning, machine vision, deep learning, big data and smart data processing and visualization, cloud computing, augmented/virtual/mixed reality, blockchains, 5G, quantum computers, special data formats and data storage, and more (Vrana 2020).

These aerial robotic systems excel at gathering the data needed to unlock the potential of NDE 4.0.

Visual inspection can also enable a look at the air density and detect gas leakage using optical gas imagery camera-based systems. Similar «bolt on» technologies to robotic systems can enhance the data collection component of NDE 4.0, thereby augmenting the UT thickness data collected. Outfitting a drone with an array of multimodal sensory devices collecting a plethora of data and information will enable the best success and use of NDE 4.0 as these systems provide more and better data for analysis.

**Drawbacks of Industrial Robotic UT Thickness Measurements and Inspections**

The aerial robotic system described in this paper is not always the ideal solution. In many situations, the existing inspection regime and methods can be completed relatively inexpensively and safely. They provide the requisite data and information for good operations and knowledge of the current and projected future state of the asset. Aerial robots can require a relatively high upfront investment (Global Electronic Services 2021), although on a per-inspection cost basis, the robotic inspections may cost less.

These systems are aircraft with electronics onboard and are thus subject to limited operations due to weather. For example, you could not operate one in the rain unless it is specifically designed to be waterproof. Wind is also a limiting factor as gusts, the venturi effect, crosswinds, and low-velocity eddies on structures all can impact their flight and performance.

As these systems collect huge amounts of data, they provide a fantastic opportunity to add to or create a digital record of industrial field assets.

Additionally, robots do not respond well to many unexpected situations. Robots are not as versatile as people and while they may exceed at certain specif-



Figure 6. An example of flight details: (a) a sample UT thickness measurement reading (UT-6) at condition monitoring location 9 (CML-9) showing the lowest measurement reading out of three readings (N-3); (b) photo of the aerial robotic system making contact with the flare stack from the post-flight report (note all numbers and values are illustrative).

Рис. 6. Приклад фрагментів протоколу польоту: (а) результати УЗ товщинометрії (протокол UT-6) у точці 9 (CML-9) моніторингу технічного стану – мінімальне значення товщини за трьома вимірами (N-3); (б) скріншот протоколу польоту – етап встановлення контакту повітряної роботизованої системи з факельною трубою (примітка: всі числа та значення є ілюстративними)

ic tasks—especially repeated programmatic tasks—they might not be able to adapt in unexpected or unanticipated situations. Since the aerial robotic systems are not human inspectors, they may not discover some issues that an experienced human inspector might. Due to this limitation, companies supplement robotic-powered inspections and examinations with ones completed by people.

When properly selected and utilized, aerial robotic inspection systems can assist with creating safer workplaces, provide better data to manage assets, and unlock cost savings. While industrial robotic inspection systems can be highly effective when properly used, they do have limitations and, in some cases, they are the incorrect tool.

### Organizational Benefits of Faster, Safer Robotic UT Thickness Measurements

Planned preventative maintenance has long been practiced as a strategy for keeping industrial field assets operating safely and efficiently. This has led to the development of standards to help asset owners maintain the integrity and fabric of their facilities and to ensure that they remain operationally safe and effective for their entire life cycle. Transformative technology such as aerial robotic UT thickness measurement and visual asset assessment systems, such as those discussed in this paper, allow customers to take a fresh look at the opportunity for conducting inspections and data-gathering operations that can help redefine a planned maintenance regime.

As these systems collect huge amounts of data, they provide a fantastic opportunity to add to or create a digital record of industrial field assets. Investment in a powerful data-collection system via an aerial robotic system is fairly simple and can be easily made purely on a financial footing. Utilizing these systems makes other visual or data inspections redundant, as the aerial robot collects UT thickness measurement data as well as HD video that can be used for visual inspection. The benefits have been clearly shown from the early adopters of this technology.

### Conclusion

Given the enormous potential industrial aerial robotic field inspection systems enable, one can easily envision a future with robotic systems having more automation, functionality, and capability. This would enable more inspections as an increased number of inspection robots are placed in service and as functionality increases.

The systems presented in this paper improve efficiency due to reduced inspection times and increase efficacy by faster reporting and decision making, which adds value and creates even more value when coupled with NDE 4.0 processes. Further, they help achieve substantial cost savings, particularly when

they prevent an industrial asset from being taken out of service or enabling the asset to be returned to service faster. And, finally, they are an elegant safety solution moving workers out of harm's way and potentially saving lives.

As we move toward a more automated future with robotic inspection tools becoming more advanced, affordable, and utilized, we will continue to utilize automation tools that free human inspectors from the dirty, dull, and dangerous tasks of collecting inspection data. This will enable them to spend more time on the higher value components of industrial asset operation and maintenance.

### Author

Robert (Bob) Dahlstrom: Apellix, Working Drones Inc., Jacksonville, FL; r.dahlstrom@apellix.com

### References

1. ASTM, 2021, ASTM E1316 – *Standard Terminology for Nondestructive Examinations*, ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/E1316-21>
2. Dahlstrom, R., 2020, «*The Efficacy of Aerial Robotic Systems (Drones) for Taking Dry Film Thickness (DFT) Measurements at Height Consistent with SSPC PA2 Standards*» available at [https://www.academia.edu/35709547/the\\_efficacy\\_of\\_aerial\\_robotic\\_systems\\_drones\\_for\\_taking\\_dry\\_film\\_thickness\\_dft\\_measurements\\_at\\_height\\_consistent\\_with\\_sspc\\_pa2\\_standardS](https://www.academia.edu/35709547/the_efficacy_of_aerial_robotic_systems_drones_for_taking_dry_film_thickness_dft_measurements_at_height_consistent_with_sspc_pa2_standardS)
3. Global Electronic Services, 2021, «*Guide to Inspection Robots Used in Industrial Sectors*», accessed 12 May 2021, <https://gesrepair.com/guide-inspection-robots-used-industrial-sectors/>
4. Mattar, R., 2018, «Development of a Wall Sticking Drone for Non-Destructive Ultrasonic and Corrosion Testing», *Inspection Engineering Journal*, Vol. 24, No. 2, <https://inspectionengineering.com/journal/2018-04-25/7567/development-of-a-wall-sticking-drone-for-non-destructive-ultrasonic>
5. Skaga, S.K., 2017, «*Feasibility Study of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Application for Ultrasonic Non-Destructive Testing (NDT) of Wind Turbine Rotor Blades. Preliminary Experiments of Handheld and UAV Ultrasonic Testing on Glass Fibre Laminate*», Master's Thesis, The Arctic University of Norway, available at <https://hdl.handle.net/10037/11350>
6. Vrana, J., 2020, «*NDE 4.0: The Fourth Revolution in Non-Destructive Evaluation: Digital Twin, Semantics, Interfaces, Networking, Feedback, New Markets and Integration into the Industrial Internet of Things*», <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17635.50720>

Permission to Reprint 04.02.2022:

The American Society for Nondestructive Testing, Inc.

CITATION

Materials Evaluation 79 (7): 687–694

<https://doi.org/10.32548/2021.me-04213>

©2021 American Society for Nondestructive Testing



## З.Т. НАЗАРЧУКУ – 70



Редколегія та редакція журналу «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» щиро вітають члена редколегії журналу доктора фізико-математичних наук, професора, заслуженого діяча науки та техніки України, академіка НАН України, директора ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, члена Президії НАН України

Назарчука Зіновія Теодоровича з ювілеєм!

З.Т. Назарчук народився 12 квітня 1952 р. у Львові. У 1974 р. з відзнакою закінчив фізичний факультет Львівського державного університету ім. Івана Франка. Наукову діяльність розпочав старшим інженером у Фізико-механічному інституті АН УРСР. У 1982 р. захистив кандидатську, а в 1990 р. докторську дисертацію на тему «Чисельне розв'язання двовимірних задач дифракції методом сингулярних інтегральних рівнянь». З 1991 р. Зіновій Теодорович очолює відділ фізико-математичних основ неруйнівного контролю та діагностики ФМІ ім. Г.В. Карпенка і водночас стає першим заступником директора, а з 2015 р. – директором інституту.

З 1995 р. З.Т. Назарчук – чл.-кор. НАН України Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства, з 1998 р. – професор, з 2006 р. – академік НАН України.

Наукові праці З.Т. Назарчука присвячено теорії дифракції хвиль, фізичним основам дефектоскопії та міцності матеріалів, зокрема неруйнівному контролю. Він створив теорію взаємодії зондуючої хвилі із системою довільних тріщиноподібних макродефектів конструкційного матеріалу, розвинув методи аналізу тонкої структури та властивостей дифрагованих полів, поглибив і розширив фізичні основи дефектометрії та структуроскопії. Роботи З.Т. Назарчука виявилися особливо ефективними для створення методик контролю корозійних тріщин і ламаних тонких включень; дають змогу замінити дороге натурне випробування елементів сучасної дефектоскопічної апаратури їх комп'ютерним моделюванням, закладають реальну можливість паспортизації найважливіших параметрів відповідних вузлів; вирішують проблеми радіохвильового контролю нещільностей у багаточарових діелектричних композиціях та виявлення корозійних пошкоджень під покриттями; дають

можливості для розробки експериментальних методик визначення адгезії покриттів.

Створені на основі наукових напрацювань З.Т. Назарчука засоби та системи неруйнівного контролю відзначаються завадостійкістю, чутливістю і перевершують світові досягнення.

Науковий внесок та сумлінна праця З.Т. Назарчука відзначені державними нагородами – орденами «За заслуги» I, II та III ступенів, Державною премією України в галузі науки і техніки, він є лауреатом премій ім. О.І. Лейпунського, ім. Є.О. Патона, ім. К.Д. Синельникова, носить звання «Заслужений діяч науки і техніки України».

З.Т. Назарчук є членом Наукового товариства імені Шевченка, головою Західного наукового центру НАН України та МОН України, членом Президії НАН України, членом правління Українського міжнародного радіосоюзу (URSI) та Українського товариства з неруйнівного контролю і технічної діагностики (УТНКТД), членом Міжнародного інституту інженерів-радіофізиків (IEEE), Європейського товариства з цілісності конструкцій (ESIS), Національного комітету України з теоретичної і прикладної механіки та Українського товариства з механіки руйнування.

Зіновій Теодорович є автором більш як 150 наукових праць, зокрема трьох монографій. Його книга «Singular integral equations in diffraction theory» (Львів, 1994) відома фахівцям багатьох країн. Чимало уваги вчений приділяє підготовці наукових кадрів, він є членом Комісії по роботі з науковою молоддю НАН України. З 1991 р. Зіновій Теодорович очолив новий науковий напрям, який заклав основи наукової школи «Фізичні основи, методи та засоби діагностики матеріалів і середовищ».

З.Т. Назарчук є член редакційних колегій таких наукових журналів, як «Фізико-хімічна механіка матеріалів» (Львів), «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» (Київ), «Радіофізика і радіоастрономія» (Харків). З 1996 р. він очолює редколегію міжвідомчого збірника «Відбір і обробка інформації».

Зіновій Теодорович Назарчук все своє життя присвятив науковій діяльності, його праця – безцінний внесок у розвиток науки і техніки нашої країни!

*Щиро бажаємо ювіляру міцного здоров'я, успіхів і благополуччя!*

## ДАТИ, ПОДІЇ, ФАКТИ З ІСТОРІЇ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ

**4 січня 2010 р.** офіційно відкрито Бурдж Халіфа – найвищий хмарочос у світі, розміщений в м. Дубай, Об'єднані Арабські Емірати. На сьогодні він є найвищою спорудою планети. Хмарочос сягає висоти 828 м і складається зі 163 поверхів. Вартість спорудження – 1,5 млрд. доларів США. У хмарочосі 57 ліфтів найшвидшої у світі системи, кабінки рухаються зі швидкістю 18 м/с. Також тут є автономна система електропостачання – 60-метрова вітрова турбіна та величезні сонячні батареї. Хмарочос зводили шість років. Під час будівництва використані 31400 м<sup>3</sup> бетону та 330000 т сталевих арматур, а фасад виготовлено з нержавіючої сталі, алюмінію та скла. Будівництво хмарочосу стало полігоном застосування сучасних технологій та засобів технічного контролю.



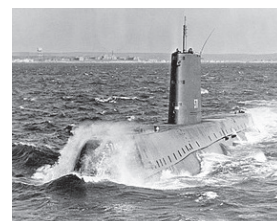
**12 січня 1907 р.** в м. Житомирі народився Сергій Павлович Корольов (1907–1966, родові прізвище Королів) – український радянський вчений в галузі ракетобудування та космонавтики, конструктор, основоположник практичної космонавтики. У кінці 1920-х р. Корольов захопився конструюванням планерів, а у 1930-х р. брав участь у створенні та випробуванні перших радянських ракет. У 1946 р. Корольова призначають головним конструктором балістичних ракет. Під його керівництвом послідовно створюються перші радянські балістичні ракети, причому Р-5М стала першою в світі ракетою-носієм ядерного боекомплекту. Найважливішим конструкторським досягненням Корольова була перша в світі міжконтинентальна балістична ракета Р-7, перший вдалий запуск якої відбувся 27 серпня 1957 р. Вона стала основою досягнень у галузі безпілотної та пілотованої космонавтики. 4 жовтня 1957 р. було виведено на орбіту першого в історії штучного супутника Землі. 12 квітня 1961 р. здійснено перший космічний політ на кораблі «Восток» Юрія Гагаріна. 12 жовтня 1964 р. виведено на орбіту перший багатомісний корабель серії «Восход» з екіпажем на борту.



**21 січня 1934 р.** введено в експлуатацію Харківський турбогенераторний завод. Будівництво заводу почалось у 1929 р. На сьогодні «Турбоатом» – провідне українське турбінобудівне підприємство, одне з найбільших у світі, яке спеціалізується на виробництві парових турбін для теплових і атомних електростанцій, гідравлічних турбін для гідроелектростанцій та гідроакумуляючих електростанцій, газових турбін для теплових електростанцій, здійснює повний цикл виробництва: проектування, виготовлення, постачання, налагодження та фірмове обслуговування турбінного устаткування для всіх типів електростанцій. Центральна заводська лабораторія, до функцій якої входить технічний контроль, є однією з найбільших в Україні.



**21 січня 1954 р.** в США спущений на воду перший підводний човен з ядерним реактором «Наутілус». Його водотоннажність 3500 т, потужність ядерного реактора 15 000 к.с., довжина 98,7 м. Діаметр човна (8,5 м) забезпечував великий простір всередині, з трьома поверхами в більшій частині корпусу. У носі човна був торпедний відсік з шістьма торпедними апаратами і 26-ма торпедами. Тести човна показали переваги ядерних силових установок для підводних човнів – «Наутілус» міг дуже швидко зблизитися з супротивником або віддалитися від нього, маючи дуже хорошу маневровість. У 1958 р. цей човен вперше в світі виконав похід на Північний полюс. З березня 1980 р. «Наутілус» було виведено з флоту ВМФ і передано в музей.



**21 січня 1976 р.** стартували планові рейси літаків «Конкорд» авіакомпанії British Airways за маршрутами Лондон – Бахрейн та Париж – Ріо-де-Жанейро. Перший в світі надзвуковий пасажирський літак «Конкорд» був створений в результаті злиття в 1962 р. двох національних програм розробки надзвукового авіатранспорту Франції (Sud Aviation) та Великої Британії (BAC), двигуни літака – спільної розробки англійської Rolls-Royce та французької SNECMA. Всього було виготовлено 20 літаків. За 27 років регулярних і чартерних рейсів було перевезено більше 3 мільйонів пасажирів. Через надзвичайно великі витрати комерційна експлуатація «Конкордів» була в цілому збитковою, в результаті літаки були зняті з експлуатації у 2003 р.



Редакція журналу буде вдячна читачам за доповнення до дат, подій та фактів з НК



**27 січня 1983 р.** закінчено проходку найдовшого підводного тунелю Сейкан, що з'єднує японські острови Хонсю і Хоккайдо. Остаточна довжина цього залізничного тунелю склала 53,9 км, в тому числі підводна частина – 23,3 км. Тунель опускається на 100 м нижче рівня морського дна. Рейки не мають болтових з'єднань стиків, вони зварені в єдину 54-кілометрову колію. Мабуть, це найдовше зварне залізничне полотно в світі. Під час будівництва та щодня під час експлуатації виконується ультразвуковий та магнітний контроль рейок за допомогою вагонів-дефектоскопів.



**1 лютого 1958 р.** запущений перший американський штучний супутник Землі «Експлорер-1». Він розроблявся та створювався в Лабораторії реактивного руху Каліфорнійського технологічного інституту під керівництвом доктора Вільяма Пікерінга. Повна маса супутника становила 13,97 кг, з них 8,3 кг приладів. Супутник виявив радіаційні пояси навколо Землі (пояси Ван Аллена) – одне з важливих відкриттів міжнародного геофізичного року. Передача даних припинилась 23 травня 1958 р., коли закінчився заряд батарей. Після цього апарат перебував у космосі понад 12 років і зійшов з орбіти над Тихим океаном 31 березня 1970 р., здійснивши понад 58 тисяч обертів.



**2 лютого 1845 р.** в містечку Гримайлів Чорківського району народився Іван Павлович Пулюй (1845–1918) – український фізик та електротехнік, винахідник, організатор науки, публіцист, перекладач Біблії українською мовою, громадський діяч. Встановив фундаментальні властивості та природу катодних променів, один із першовідкривачів Х-променів за деякий час до В. Рентгена. Професор і ректор Німецької вищої технічної школи в Празі, державний радник з електротехніки Королівства Богемія і Маркграфства Моравія. Дійсний член Наукового товариства імені Шевченка, почесний член Віденського електротехнічного товариства.



**6 лютого 1883 р.** в Києві народився Дмитро Павлович Григорович (1883–1938) – український авіаконструктор, творець першого гідроплану. Навчався в Київському політехнічному інституті. Перший свій легкий біплан Г1 з двигуном «Анзані» потужністю 25 к. с. Григорович випробував 10 січня 1910 р. З 1912 р. Григорович – технічний директор заводу 1-го Російського товариства повітроплавання. У 1913 р. сконструював свій перший літальний човен М-1. За роки Першої світової війни конструкторське бюро Григоровича створило понад 10 типів гідролітаків. У 1922 р. Григоровича було призначено технічним директором і начальником КБ Державного авіаційного заводу №1 у Москві, за його участю спроектовано перші радянські винищувачі І-1 та І-2. У 1928 р. Григорович був заарештований і кілька років був ув'язнений у системі ГУЛАГ.



**7 лютого 1906 р.** народився Олег Костянтинівич Антонов (1906–1984) – український радянський авіаконструктор, д.т.н., академік АН УРСР. У 1930-х роках О.К. Антонов будував планери, які зіграли видатну роль у становленні планеризму. Згодом він працював в ДКБ Яковлева, а з 1946 р. – головним конструктором авіаційного ДКБ в Новосибірську, яке в 1952 р. було переведено в Київ. Під керівництвом Антонова розроблено транспортні літаки Ан-8, Ан-12, Ан-22, Ан-26, Ан-32, Ан-72, Ан-124, пасажирські літаки Ан-10, Ан-24, суцільнометалеві планери, систему автоматизованого проектування літаків, запроваджено клеєзварні з'єднання та композиційні матеріали тощо.



**10 лютого 1906 р.** спущено на воду британський лінокор «Дредноут», родоначальник нового класу кораблів і революції у військово-морській справі. «Дредноут» став першим кораблем, при будівництві якого був реалізований так званий принцип «all-big-gun» («усі гармати великі»). Його водотоннажність 21 845 т, довжина 160,7 м, ширина 25 м, осадка 9,4 м. Потужність чотирьох парових турбін 24 700 к.с., швидкість 21 вузлів. Корпус корабля виготовлено з поверхнево зміцненої броні з хромонікелевої сталі товщиною до 200 мм. озброєння: десять 305-мм гармат Mark X, двадцять сім 76-мм гармат, 5 торпедних апаратів.



**11 лютого 1847 р.** народився Томас Едісон (1847–1931) – американський науковець і винахідник, автор винаходів, на які видано 1093 патенти США та 1239 патентів інших країн. Більшість своїх винаходів зробив у лабораторії в Менло-Парк у штаті Нью-Джерсі, протягом 1876–1887 рр., включаючи створення лампи розжарювання. У 1879 р. створив систему розподілу електроенергії споживачам, телефон, фонограф, вугільний мікрофон тощо. У 1878 р. Едісон заснував компанію «Edison Electric Light», що згодом перетворилась в промислового гіганта – General Electric. Один з напрямків її діяльності сьогодні – розробки в галузі неруйнівного контролю.

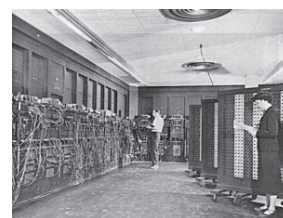
**12 лютого 1933 р.** народився Лев Іванович Бударін (1933–1995) – учений-хімік, чл-кор. НАН України. Освіту він одержав у Ташкентському університеті (1956 р.), а з 1963 р. працював в Україні, в Інституті загальної та неорганічної хімії та з 1970 р. – в Інституті фізичної хімії. Серед фахівців неруйнівного контролю він став відомим за розробку та теоретичне обґрунтування нового методу контролю – хімічного каталіметричного методу контролю герметичності, суть якого полягає у використанні для локалізації течі хімічних каталітичних реакцій, перебіг яких супроводжується утворенням забарвлених продуктів. Л. Бударін та його відділ брали участь в проєкті ІЕЗ ім. Є.О. Патона «Багатошарові труби великого діаметру».



**12 лютого 1960 р.** у київському Інституті фізики запущено перший український ядерний реактор ВВР-М. Пізніше, в 1970 р., на його базі було створено Інститут ядерних досліджень. ВВР-М – водно-водяний модернізований реактор басейного типу. У 1954 р. з ініціативи І.В. Курчатова Уряд прийняв постанову про створення ядерних центрів у ряді міст і будівництво в них дослідницьких ядерних реакторів. Реактор ВВР-М потужністю 10 мегават, призначається для виробництва ізотопів високої активності, проведення експериментів у галузі фізики нейтронів і досліджень процесів опромінення матеріалів. Реактор пройшов модернізацію і продовжує працювати.



**15 лютого 1946 р.** офіційно введений до ладу перший у світі програмований комп'ютер ENIAC (англ. Electronic Numerical Integrator and Computer). Комп'ютер розміщувався в Інституті електроніки Пенсильванського університету і займав площу 167 м<sup>2</sup>. Його маса складала 30 т, а споживання електроенергії – 150 кВт. ENIAC став першим електронним цифровим комп'ютером, який можна було перепрограмувати для вирішення різних завдань. Побудований на замовлення армії США для обрахунку балістичних таблиць, виробництва ядерної зброї, прогнозування погоди, проектування аеродинамічних труб, досліджень космічного випромінювання тощо.



**26 лютого 1934 р.** відкрито перший завод з випуску «народного» автомобіля «Фольксваген». Першим випускався відомий автомобіль VW «Жук». Це наймасовіший автомобіль в історії, що вироблявся без перегляду базової конструкції. Всього було виготовлено 21529464 автомобілів. Розробкою займався Фердинанд Порше (в подальшому творець одного з варіантів танка «Тигр» та автомобілів «Порше»), який підтримував зв'язок з Фордом і активно впровадив нові технології на заводі. Зварювання забезпечувало швидку збірку автомобіля на конвеєрі, а великий об'єм контрольних операцій – його надійність.



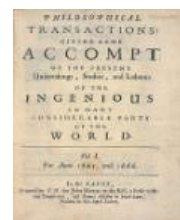
**27 лютого 1965 р.** здійснив перший політ літак Ан-22 «Антей» – український радянський турбогвинтовий широкофюзеляжний транспортний літак, створений в Києві Авіаційним науково-технічним комплексом ім. О.К. Антонова. Перша публічна демонстрація літака відбулася 15 червня 1965 р. на авіасалоні в Ле Бурже. Літак встановив 41 світовий авіаційний рекорд. Виробництво літака тривало до січня 1976 р. і було випущено 66 «Антейів».



**4 березня 1904 р.** в Одесі народився Георгій Гамов (1904–1968) – український радянський та американський фізик-теоретик, космолог. Розробив теорію альфа-розпаду через тунелювання, працював у галузі радіоактивного розпаду атомних ядер, ядерного синтезу в надрах зірок, теорією Великого вибуху, походження елементів, проблем генетики. Залишив СРСР у 1934 р. Світове визнання отримав за розробку теорії Великого вибуху, тобто походження Всесвіту, розрахунок генетичного коду, відкриття способів передачі спадкової інформації. Як фізик вивів формулу, що започаткувала теоретичне обґрунтування альфа-розпаду атомного ядра. Г. Гамов є автором теорії утворення хімічних елементів, згідно з якою вся речовина первісно складалася з нейтронів.



**6 березня 1665 р.** почав видаватися в Лондоні найстаріший англомовний науковий журнал світу — Philosophical Transactions of the Royal Society (укр. Філософські праці Королівського товариства). З 1887 р. поділений на два журнали: Philosophical Transactions of the Royal Society A: Physical, Mathematical and Engineering Sciences публікує статті з фізичних, математичних та інженерних наук. Термін «Philosophical» треба розуміти як «натурфілософський».





**7 березня 1957 р.** здійснив перший політ середньомагістральний пасажирський літак Ан-10, створений під безпосереднім керівництвом О.К. Антонова. Розробка нового чотирьохдвигунного пасажирського літака «У» («Україна»), призначеного для експлуатації на авіалініях довжиною від 500 до 2000 км, почалася в АНТК ім. О.К. Антонова наприкінці 1955 р. Завданням передбачалося застосування двигунів НК-4 або ТВ-20. У травні 1956 р. відбувся захист ескізного проєкту. Уже через п'ять місяців був затверджений макет літака. Літак вироблявся з 1957 по 1960 рр. (вироблено 108 лайнерів). У 1973 р. ухвалено рішення про припинення експлуатації на лініях Аерофлоту усього парку літаків Ан-10.



**8 березня 1979 р.** фірма Philips продемонструвала прототип оптичного цифрового диску для збереження інформації (даних) у цифровому вигляді. Цей формат було спочатку розроблено для записування та відтворення лише звукозаписів, але пізніше його було пристосовано для зберігання різноманітних даних. Аудіодиски та аудіопрогравачі компакт-дисків стали комерційно доступними починаючи з жовтня 1982 р. Подальшим розвитком компакт-дисків стали DVD і Blu-ray. В Україні виробництво компакт-дисків почало розгортатися у середині 1990-х р. компаніями, які входили до складу АК «Росток». Підкладкою лівової частки усіх сучасних носіїв інформації слугує полікарбонат. Це пластмаса з температурою плавлення, що трохи перевищує 200 °С і має термін зберігання до 15 років.



**12 березня 1863 р.** народився Володимир Іванович Вернадський (1863–1945) – український та російський вчений, засновник геохімії, біогеохімії, радіогеології, творець вчення про біосферу, один із засновників Української академії наук та її перший голова-президент з 1 січня 1919 р. до 31 грудня 1921 р. Засновник Національної бібліотеки Української держави в Києві (нині – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського). Організатор та директор Радієвого інституту (1922–1939), Біохімічної лабораторії (з 1929 р.; зараз Інститут геохімії й аналітичної хімії імені В.І. Вернадського РАН).



**13 березня 1892 р.** Товариство ім. Шевченка у Львові реорганізоване у Наукове товариство ім. Шевченка – всесвітню українську академічну організацію, багатопрофільну академію наук українського народу, рушійну силу формування та розвитку української науки кінця XIX – першої половини XX ст. Утворене 23 грудня 1873 р. у Львові за фінансування меценатів з Наддніпрянщини як Літературне товариство імені Т. Шевченка. Особливого розквіту досягло в період головування Михайла Грушевського (1897–1916). У 1939 р. ліквідоване радянською владою, відновлене у 1947 р. в Західній Європі та США. З 1989 р. організація знову діє на території України.



**15 березня 1927 р.** почалося будівництво Дніпрогесу в Запоріжжі. Перший гідроагрегат ввели в експлуатацію 10 жовтня 1932 р., а вже 1939 р. стали до ладу всі 9 гідроагрегатів станції загальною потужністю 560 тис. кВт. Турбіни було поставлено американською компанією «Ньюпорт Ньюс». Генератори було поставлено американською компанією «General Electric» та заводом «Електросила». Технічний нагляд за веденням будівництва здійснював полковник Г'ю Лінкольн Купер інженерного корпусу США. Він був головним інженером-консультантом проєкту на запрошення уряду.



**19 березня 1935 р.** Ігор Сікорський (1889–1972), видатний авіаконструктор українського походження, отримав у США патент на «літальний апарат прямого підйому». Протягом 1908–1912 рр. Ігор Сікорський побудував у Києві 6 моделей літаків та 2 моделі вертольотів. У 1918 р. він емігрував до США, де в 1923 р. заснував компанію Sikorsky Aircraft. 14 вересня 1939 р. у США Ігор Сікорський підняв у повітря власний перший гелікоптер VS-300, придатний для практичних польотів.



**23 березня 1908 р.** на Богуславщині в Київській обл. народився Архип Михайлович Люлька (1908–1984), академік, конструктор авіаційних двигунів. У 1931 р. закінчив Київський політехнічний інститут. Працюючи в Харківському авіаційному Інституті, розробив конструкцію першого в світі двоконтурного турбореактивного двигуна (1939 – 1941 рр). Був піонером розробки турбореактивних двигунів для надзвукової авіації, зробивши перші кроки у цьому напрямі ще в далекі 1930-і роки. Під його керівництвом створено спеціальне КБ, нині НВО «Сатурн», яке носить його ім'я. Його двигуни типу АЛ різних модифікацій встановлені на багатьох літаках, розроблених в КБ Сухого, Іллюшина та інших.