

<https://doi.org/10.15407/knit2019.05.76>

УДК 929:93/94

**О. Г. Стрелко, О. Я. Пилипчук, Ю. А. Бердниченко**

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

## ДО П'ЯТДЕСЯТИРІЧЧЯ ПЕРШОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗІ ЗВАРЮВАННЯ У КОСМОСІ

*Стаття присвячена відображенню історичних етапів зародження ідеї, підготовки та проведення перших експериментів зі зварювання матеріалів у космосі, виконаних 16 жовтня 1969 року радянськими льотчиками-космонавтами Георгієм Степановичем Шоніним і Валерієм Миколайовичем Кубасовим на космічному кораблі «Союз-6». Оцінено внесок як окремих спеціалістів, так і цілих організацій у вирішення завдань підготовки експерименту, розробки та виготовлення необхідного обладнання. Показано провідну роль у вирішенні вказаних завдань групи українських вчених Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона на чолі з академіком Борисом Євгеновичем Патonom. Досліджено чотириетапну періодизацію розробки, виготовлення та тестування обладнання та підготовки експерименту зі зварювання в космосі. Показано важливість результатів експериментів в умовах, що імітують космічні, для підготовки проведення експерименту безпосередньо в умовах космосу. Проведені дослідження дозволили виявити найбільш характерні особливості зварювання в умовах невагомості і вакууму. Показано, що саме шляхом детального аналізу результатів проведених наземних експериментів, а також експериментів на літаючій лабораторії ТУ-104, були відібрані найбільш перспективні методи для зварювання в умовах космосу, а саме: електронно-променево зварювання; зварювання плавким електродом і зварювання стисненою дугою. Розглянуто особливості технічних рішень, які були втілені при розробці та виготовленні комплексного, повністю автономного пристрою для зварювання «Вулкан», що дозволяв виконувати на орбіті в автоматичному режимі електронно-променево зварювання, зварювання стисненою дугою низького тиску і дугове зварювання плавким електродом. Показано, що визначальний внесок у розробку зварювальної установки «Вулкан» та підготовку першого у світі експерименту зі зварювання у космосі зробили українські вчені Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона та Інституту електродинаміки.*

**Ключові слова:** історія космонавтики, зварювання в космосі, зварювальна установка «Вулкан», внесок українських вчених.

### ВСТУП

16 жовтня 1969 р. радянські льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін і Валерій Миколайович Кубасов вперше в світі провели в умовах космосу зварювальний експеримент, який ліг в основу нового науково-технічного напрямку — космічної технології [1, 10, 14]. Вчені та фахівці різних наукових і виробничих організацій СРСР, що підготува-

ли цей складний і ризикований експеримент, задуманий ще на початку 1960-х років минулого століття академіками С. П. Корольовим і Б. Є. Патonom [9, 10, 15], стали фундаторами в науково-дослідному технологічному освоєнні космосу. За ці 50 років у космосі було проведено кілька сотень подібних експериментів фундаментального і практичного спрямування [1, 8, 27, 28]. Стрімкий розвиток космічної технології в СРСР позначився і на тематиці, і на обсязі наукових досліджень [1, 8].

© О. Г. СТРЕЛКО, О. Я. ПИЛИПЧУК, Ю. А. БЕРДНИЧЕНКО, 2019

Метою даної роботи є відображення історичних етапів зародження ідеї, підготовки та проведення перших експериментів з технологій оброблення матеріалів у космічному просторі, а також оцінка внеску українських вчених при вирішенні вказаних завдань.

#### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Використання історичного методу [20—22, 25, 26] для систематизації та критичної оцінки літературних джерел дозволили відокремити найбільш суттєві факти у сучасному стані вивчення тематики досліджень та проаналізувати результати інших дослідників, що дозволило визначити напрямки власних пошуків.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

На початку 1960-х років СРСР і США, в суперництві один з одним, далеко випередили інші країни в розвитку практичної космонавтики. Вже в цей час було розпочато розробку перших проектів довгодіючих космічних орбітальних станцій. Звісно, саме тоді виникла думка, що для їхнього створення, обслуговування і ремонту буде необхідне зварювання в космосі. На жаль, специфіка тих років полягала в тому, що суперництво двох країн не тільки призвело до бурхливого розвитку космонавтики, а й змушувало негайно засекречувати всі нові дослідження, спрямовані на освоєння космічного простору. Тому наразі мало що відомо про практичну реалізацію в ті роки науково-дослідних робіт зі зварювання в космосі у США. Перші публікації про зварювання в космосі носили радше популяризаторський, ніж науковий характер [4—7]. Проте уже в цих роботах найбільш перспективним для космічних умов називалося електронно-променеве зварювання. Наразі, безумовно, становить інтерес більш докладна інформація про розвиток у цей період робіт зі зварювання в космосі в СРСР і внесок українських учених.

Новий час ставив перед Інститутом електрозварювання і нові завдання. Ще в 1964 році Борис Євгенович Патон писав [24]: «Намагаючись уявити собі зварювання у міжзоряному просторі, мені б у першу чергу хотілося заглянути у майбутнє і на

самій нашій планеті. Адже зварювання зародилося в наших земних умовах, і тут йому належить досягти небачених висот. Втім, чому я кажу «зварювання»? Вже зараз воно все більше і більше зіставляється зі склеюванням, коли встановлюється зв'язок між «чужими» атомами в металах без їхнього попереднього розплавлення. У цих випадках термін «зварювання» звучатиме як анахронізм. Перспективний напрямок розвитку зварювання — відмова від розплавлення металу і використання ультразвукових коливань, сил тертя, енергії вибуху. Однак це не означає, що розплавлення металу буде зовсім виключено зі зварювання. Нарівні з дугою, електронними та світловими променями знайдуть застосування також іонний промінь, розпечена плазма. Наразі широко застосовується новий вид зварювання концентрованим потоком електронів у вакуумі — так зване електронно-променеве зварювання. Небачена раніше концентрація енергії дозволяє проплавляти «кинджалним» швом метал величезної товщини». Повертаючись до теми космічного зварювання, Борис Євгенович торкнувся її значення для створення орбітальних станцій, місячних міст і міжпланетних кораблів [24]: «Абсолютна рівномірність зварювання дозволить конструкторам з'єднувати нові матеріали для космічних кораблів. Міцні з'єднання металів з керамікою, металів з плівками (для самогерметизації) — ось над чим потрібно працювати вченим. І це не якісь віддалені проекти. В даний час в умовах лабораторій є теоретична можливість зварювати всі метали між собою в різних комбінаціях, а також зварювати метали з неметалами. Письменники-фантасти у своїх творах люблять описувати гострі моменти, коли навіть маленькі осколки метеоритів пробивають обшивку космічних кораблів. І якщо в один з відсіків все-таки потрапить метеорит, то в ліквідації аварії космонавтам допоможе механічний робот-зварювальник. Електронні оператори за соті доли секунди визначать рівень аварії, вирахують за швидкістю падіння тиску розмір ураження, миттєво дадуть завдання роботу-зварнику. Ще більша роль працям даного профілю буде відводитися під час будівництва всіх без винятку космічних об'єктів. Як бачите, зварювання покликає зіграти велику роль у завоюванні космо-

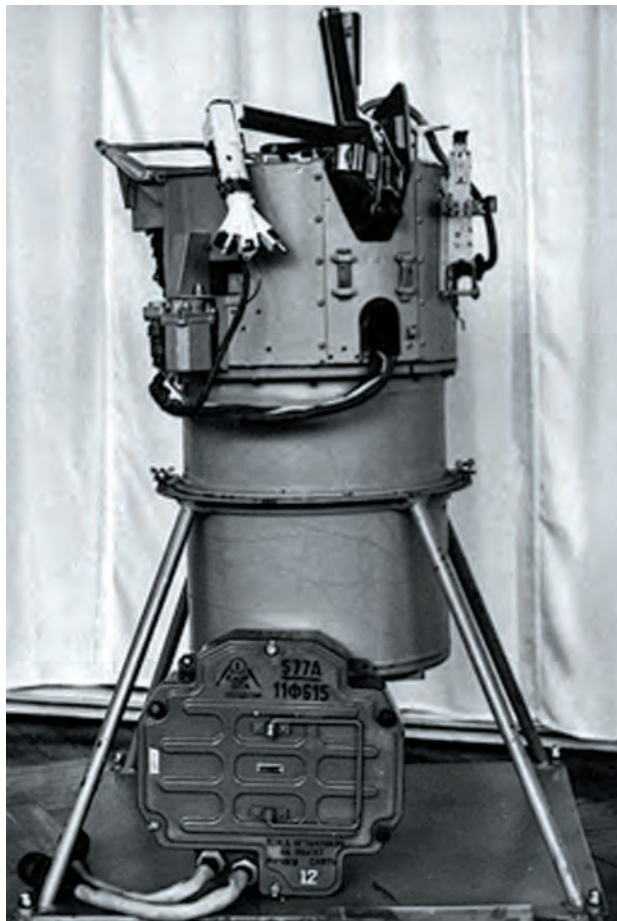


Рис. 1. Зварювальна установка «Вулкан» [22]

су. У майбутньому воно займе гідне місце серед інших творінь людського розуму».

У 1964 р. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона Академії наук УРСР (далі — ІЕЗ) спільно з дослідно-конструкторським бюро ДКБ-1 (м. Корольов Московської обл.) була розроблена комплексна програма наукових досліджень, метою якої було створення апаратури і технологій для з'єднання матеріалів у космосі методом зварювання [1, 9, 23, 28]. Ці роботи вже більш як 50 років очолює академік Б. Є. Патон. Для виконання робіт в ІЕЗ було створено спеціальну групу. Слід зауважити, що починаючи з перших розробок і експериментів зі зварювання в космосі ІЕЗ співпрацював з багатьма організаціями та інститутами, основними з яких були Ракетно-космічна корпорація «Енергія» ім. С. П. Корольова, Центр підготов-

ки космонавтів ім. Ю. А. Гагаріна, підприємство «Зірка», Інститут космічних досліджень Академії наук СРСР, Інститут земного магнетизму, іоносфери і поширення радіохвиль, Центр керування польотами, а також Інститут електродинаміки Академії наук УРСР та Фізико-технічний інститут низьких температур Академії наук УРСР.

Дослідження почалися в тому ж 1964 році. Програмою передбачалося кілька етапів [16, 28]. На першому етапі розроблялася експериментальна зварювальна апаратура для низки найбільш перспективних в умовах космосу способів зварювання. Характерно, що ця апаратура одразу ж розраховувалася на енергоживлення від автономних акумуляторних батарей, що імітують бортову мережу космічних апаратів. Одночасно розроблялися дослідні вакуумні стенди, які найбільшою мірою повинні були імітувати умови космосу. На другому етапі проводилися дослідження декількох способів зварювання в наземних лабораторіях з використанням експериментального обладнання та дослідницьких вакуумних стендів. Це дозволило імітувати космічний вакуум і властиві космосу температури. На цьому ж етапі досліджувалася можливість використання в космосі різних захисних і плазмотворювальних газів, визначалися оптимальні режими зварювання, різання та інших технологічних процесів. На третьому етапі дослідження проводилися вже з використанням засобів, прийнятих при випробуванні космічних апаратів і тренуванні космонавтів. Це літаюча лабораторія, що дозволяє короткочасно багато разів відтворювати стан невагомості, і барокамери, які давали можливість імітувати роботу у відкритому космосі. В них розміщувалися зварювальна апаратура і випробувальні стенди. Нарешті, четвертий етап — це випробування зварювальної апаратури і технологій вже безпосередньо в космосі. Спочатку ніяких публікацій про ці роботи не було. Науково-технічні статті, присвячені проблемі зварювання в космосі, почали друкуватися в радянських журналах лише після проведення в 1969 р. перших космічних зварювальних експериментів [2, 14, 17, 18]. Натомість в американських і європейських журналах проблема зварю-



**Рис. 2.** Льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін (а) і Валерій Миколайович Кубасов (б), які виконували перший експеримент зі зварювання в космосі [28]

вання наприкінці 1960-х років обговорювалася ширше. Але інформації про розробку у США в цей період будь-якої комплексної програми досліджень не було [16, 28]. Розроблена в СРСР програма досліджень активно розвивалася і вдосконалювалася до 1991 р. За цей період виконано величезну кількість експериментів, проведено випробування великої кількості зразків космічної зварювальної апаратури і різних технологічних процесів. І весь цей час викладена вище етапність досліджень зберігалася незмінною, бо давала можливість найкраще підготуватися до робіт в космосі.

На початку 1960-х років було розроблено концепцію застосування найбільш перспективних в умовах космосу способів зварювання і розпочато розробку експериментальної апаратури, створено системи електроживлення, електрокерування і телеметрії [16]. Як уже згадувалося, для проведення перших космічних досліджень в Інституті

електрозварювання ім. Е. О. Патона був створений спеціальний творчий колектив, який приступив до створення експериментального обладнання та розробки основ технології зварювання, різання і нанесення покриттів в космосі. Процеси паяння в космосі почали досліджуватися на більш пізніх етапах [28]. Загальне керівництво здійснювалося Б. Є. Патонем, розробка експериментальної апаратури проводилася під керівництвом В. Є. Патона, а координація робіт виконавців, що працювали в різних підрозділах інституту, здійснювалася Д. А. Дудком [16, 23]. Основні конструкторські роботи з механічної частини обладнання виконували Г. П. Дубенко, В. В. Стесін, О. А. Загребельний, а проектування електричної частини виконувалось Г. Я. Хлиستиковим та О. П. Разинковим. Електронно-променеу гармату (ЕПГ) розробили О. К. Назаренко та В. І. Чалов, системи живлення для ЕПГ створив В. Д. Шелягін, а інверторні джерела живлення — Ю. І. Драбович та



Рис. 3. Льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін (праворуч) і Валерій Миколайович Кубасов (ліворуч) під час наземних експериментів зі зварювальною установкою «Вулкан» [28]

М. М. Юрченко (Інститут електродинаміки НАН України). Системи електроживлення, управління та вимірювання параметрів бортового та випробувального обладнання розробили Ю. М. Ланкін, Ю. О. Масалов та Є. М. Байштрук. Розробку обладнання для зварювання плавким електродом здійснювали А. Є. Марченко та Ю. Д. Морозов, для зварювання стиснутою дугою — С. П. Лакіза, а для контактного точкового зварювання — Г. В. Горбунов та О. І. Берзін. Швидкісну та звичайну кінозйомку процесів зварювання виконував В. Ф. Лапчинський.

Вперше дослідження в умовах, які імітують космос, були виконані в СРСР у 1965 р. на літаючій лабораторії ТУ-104, що дозволяє короткочасно (до 25...30 с) відтворювати стан невагомості [16, 18, 23, 28]. Для проведення досліджень був створений комплекс обладнання А-1084, що складався з ряду вакуумних камер, механічних

форвакуумних і сорбційно-гетерних високовакуумних насосів, реєструвальних приладів (звичайні і швидкісні кінокамери, осцилографи) і апаратури керування. Весь комплекс обладнання розміщувався в салоні літаючої лабораторії. На кришках кожної з камер могли встановлюватися автоматичні пристрої для зварювання різними методами — електронним променем, стислою дугою низького тиску і дугою з електродом, що плавиться. Оскільки в конструкціях космічних об'єктів, як правило, не використовується метал великої товщини, потужність цих зварювальних пристроїв не перевищувала 1.5 кВт. Проведені дослідження дозволили виявити найбільш характерні особливості зварювання в умовах невагомості і вакууму. У результаті проведених наземних експериментів, а також експериментів на літаючій лабораторії і детального аналізу їхніх результатів для зварювання в космосі були відібрані найбільш перспективні методи, а саме: електронно-променеве зварювання; зварювання плавким електродом і зварювання стисненою дугою.

На базі проведених досліджень фахівцями Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона і Інституту електродинаміки було розроблено і виготовлено спеціальну зварювальну установку «Вулкан» (рис. 1) [2], призначену для перевірки можливості використання названих вище способів зварювання в умовах космосу [3, 11, 13, 16—18, 23].

«Вулкан» був комплексним, повністю автономним пристроєм [2, 17, 18], що дозволяв виконувати в автоматичному режимі електронно-променеве зварювання, зварювання стисненою дугою низького тиску і дугове зварювання плавким та неплавким електродами [3, 11, 13, 17]. Установа складалася з двох основних відсіків. У верхньому, негерметичному, розташовувалися зварювальні пристрої і зразки; у нижньому, герметичному, — блоки енергоживлення, прилади керування, вимірювальні і перетворювальні пристрої, засоби автоматики. Джерело живлення і електронна гармата були поєднані у єдиний блок на основі епоксидних компаундів, які слугували одночасно ізоляційним і конструкційним матеріалом [17]. Відсутність високовольного кабеля, роз'ємів і виводів дозволили значно підвищити надійність і керованість апаратури, зни-

зити її вагу, практично виключити можливість ураження оператора високою напругою. Основні технічні характеристики зварювальної установки «Вулкан» були такими [3, 8, 11, 17, 16, 27, 28]: тривалість неперервної роботи була відносно невеликою (до 3 хв) і обмежувалася ємністю акумуляторної батареї; потужність пристроїв для різних способів зварювання становила від 0.6 кВт до 1.0 кВт; струм електронного пучка до 60 мА; прискорювальна напруга 10 кВ; вага електронно-променевої гармати дорівнювала 450 г; вага електронно-променевої гармати з блоком живлення — 6.5 кг; загальна вага зварювальної установки «Вулкан» складала 50 кг.

16 жовтня 1969 р. під час польоту космічного корабля «Союз-6» льотчики-космонавти Г. С. Шонін і В. М. Кубасов (рис. 2) вперше у світовій практиці здійснили зварювання та різання металу в космосі [9]. Цей унікальний експеримент можна вважати початком ери космічної технології [3, 11–13, 17, 19]. Зварювальна установка «Вулкан» була встановлена у побутовому відсіку космічного корабля «Союз-6», а її пульт керування — у спусковому апараті [16]. Після розгерметизації побутового відсіку космонавт-оператор В. М. Кубасов, який перебував у спусковому апараті, включив автоматичне зварювання стисненою дугою низького тиску. Згодом він запустив автоматичні пристрої для зварювання електронним променем і плавким електродом. Під час кожного дослідження космонавт спостерігав за роботою установки за допомогою сигнального табло на пульті керування. Всі експерименти виконувалися в космосі в автоматичному режимі. Дані щодо режиму зварювання і умов проведення експерименту передавалися на Землю і фіксувалися самописцями. Виконаний в космосі експеримент підтвердив зроблені раніше основні припущення і результати досліджень, отримані на літаючій лабораторії ТУ-104 [14]. Було показано, що безпосередньо в космосі процеси плавлення, зварювання і різання електронним променем протікають стабільно, забезпечуються необхідні умови для нормального формування зварних з'єднань і розрізів. Зварювання електронним променем показало себе відмінно, тоді як зварювання стисненою дугою низького тиску не забезпечувало необхідної якості, а при зварюванні плавким електро-

дом шов виходив нерівномірним. Малогабаритні зварювальні пристрої, включені в комплекс установки «Вулкан», показали достатню надійність і працездатність в умовах космосу [17]. Принципові рішення, прийняті при розробці цих пристроїв, виявилися правильними і придатними для конструювання зварювальних установок, призначених для зварювання в космосі конкретних виробів.

Отримані зварні з'єднання були доставлені на Землю і ретельно досліджені [9, 14, 16]. Експерименти на зварювальній установці «Вулкан» дали неоціненну інформацію. Вона дозволила створити нові зразки космічної зварювальної апаратури і розробити прикладні технології зварювальних процесів в космосі [1, 9, 12, 16, 23].

## ВИСНОВКИ

1. Виконано історичний аналіз етапів підготовки та проведення першого зварювального експерименту в умовах космосу.

2. Показано, що визначальний внесок у розробку апаратури та підготовку експерименту було зроблено українськими вченими Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона та Інституту електродинаміки.

*Автори висловлюють подяку доктору технічних наук Ю. М. Ланкіну за корисні зауваження і поради.*

## ЛІТЕРАТУРА

1. Горбулін В. П., Яцків Я. С. Б. Є. Патон і розвиток космічної науки та технології. *Космічна наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 43–52. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2018.05.043> (дата звернення: 01.10.2019).
2. История развития сварки в космосе. URL: <https://blog.svarcom.net/statii/svarka-v-kosmose.html> (дата звернення: 01.10.2019).
3. Лебедев В. К., Шелягин В. Д., Мохнач В. К., Назаренко О. К., Чалов В. И., Масалов Ю. А. Новая система стабилизации тока и ускоряющего напряжения электронных пушек. *Автоматическая сварка*. 1971. № 9. С. 46–48.
4. Патон Б. Е. Сварка в космосе. *Техника молодежи*. 1964. № 11. С. 13.
5. Патон Б. Е. Сварка на орбите. *Правда*. 1969. 17 октября.
6. Патон Б. Е. Вулкан на орбите. *Советский Союз*. 1969. № 11. С. 4.

7. Патон Б. Е. Заводы в космосе. *Новое время*. 1975. № 15. С. 23—25.
8. Патон Б. Е. (Ред.) *Космос: технологии, материаловедение, конструкции: Сб. науч. тр.* Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000.
9. Патон Б. Е. 25 лет сварке в открытом космосе. *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 14—18.
10. Патон Б. Е. Предисловие к сборнику научных трудов «Космос: технологии, материаловедение, конструкции». *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 10—13.
11. Патон Б. Е., Гавриш С. С., Шулым В. Ф., Булацев А. Р., Демьяненко В. В., Крюков В. А. и др. Ручные электронно-лучевые технологические работы в космосе. *Автоматическая сварка*. 1999. № 10. С. 7—22.
12. Патон Б., Джанибеков В., Савицкая С. Испытано на орбите. *Наука и жизнь*. 1986. № 2. С. 2—7.
13. Патон Б. Е., Дудко Д. А., Бернадский В. Н. Лапчинский В. Ф. Загребельный А. А. Стесин В. В. и др. Выполнение ручной электронно-лучевой сварки в космосе. *Космическое материаловедение и технология*. Под ред. А. С. Охотин. Москва: Наука, 1977. С. 17—22.
14. Патон Б. Е., Кубасов В. Н. Эксперимент по сварке металлов в космосе. *Автоматическая сварка*. 1970. № 5. С. 7—12.
15. Патон Б. Е., Кубасов, В. Н. Десять лет космической технологии. *Автоматическая сварка*. 1979. № 12. С. 1—3.
16. Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф. *Сварка и родственные технологии в космосе*. Киев: Наукова думка, 1998.
17. Патон Б. Е., Назаренко О. К., Чалов В. И., Непорожний Ю. В., Лебедев, В. К. Заруба, И. И. и др. Особенности аппаратуры и процессов электронно-лучевой сварки и резки в условиях космоса. *Автоматическая сварка*. 1971. № 3. С. 3—8.
18. Патон Б. Е., Патон В. Е., Дудко Д. А., Бернадский В. Н., Дубенко Г. П., Лапчинский В. Ф., Стесин В. В., Загребельный А. А., Ланкин Ю. Н., Масалов Ю. А., Цыганков О. С., Бойчук В. М. Стенд для исследования технологических процессов в условиях, имитирующих космос. *Космические исследования на Украине*. 1973. № 1. С. 5—8.
19. *Первая сварка в космосе*. URL: <http://www.alfa-industry.ru/news/104/2835/> (дата звернення 01.10.2019).
20. Пилипчук О., Стрелко О. Міністр шляхів сполучення князь М. І. Хілков (1834—1909): життя та діяльність. *Історія науки і техніки*. 2016. Т. 6, № 9. С. 48—55. URL: <http://hst-journal.com/index.php/hst/article/view/154> (дата звернення: 01.10.2019).
21. Пилипчук О., Стрелко О. Костянтин Миколайович Посьет (1819—1899): життя та діяльність (до 200-річчя від дня народження). *Історія науки і техніки*. 2017. Т. 7, № 10. С. 56—63. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2017-7-10-56-63> (дата звернення: 01.10.2019).
22. Пилипчук О., Стрелко О. Тринадцятий міністр шляхів сполучення Російської імперії Гюббенет Адольф Якович (1831—1901 рр.). *Історія науки і техніки*. 2018. Т. 8, № 12. С. 39—52. URL: [https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1\(12\)-39-52](https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1(12)-39-52) (дата звернення: 01.10.2019).
23. Стесин В. В. Е. Патон в работах по космическим технологиям. *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 24—27.
24. Таглина О. *Евгений и Борис Патоны*. Киев: Фолио, 2010.
25. Ясь О. В. Історіографія, як термін. *Енциклопедія історії*. Київ: Наук. думка, 2005. Т. 3. С. 584—591.
26. Garraghan G. J., Delanglez J., Appel L. *A guide to historical method*. New York: Fordham University Press, 1946.
27. Paton B. E. Welding in space. *Welding Engineering*. 1972. 57(1). P. 25—29.
28. Paton B. E., Lapchinskii V. F. *Welding in space and related technologies*. Cambridge: International Science Publishi, 1997.

Стаття надійшла до редакції 08.08.2019

## REFERENCES

1. Horbulin, V. P., Yatskiv, Ya. S. (2018). B. E. Paton and the development of space science and technology. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 43—52 [in Ukrainian]. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2018.05.043> (Last accessed 01.10.2019).
2. *The history of the development of welding in space*. URL: <https://blog.svarcom.net/statii/svarka-v-kosmose.html> (Last accessed 01.10.2019).
3. Lebedev, V. K., Shelyagin, V. D., Mokhnach, V. K., Nazarenko, O. K., Chalov, V. I., Masalov, Yu. A. (1971). New system of current stabilization and accelerating voltage of electron guns. *Automatic welding*, 9, 46—48 [in Russian].
4. Paton, B. E. (1964). Welding in space. *Technique for youth*, 11, 13 [in Russian].
5. Paton, B. E. (1969). Welding in orbit. *Pravda*, October 17 [in Russian].
6. Paton, B. E. (1969). Vulcan in orbit. *The Soviet Union*, 11, 4 [in Russian].
7. Paton, B. E. (1975). Plants in space. *New time*, 15, 23—25 [in Russian].
8. Paton, B. E. (Ed.) (2000). *Cosmos: Technologies, Materials Science, Structures. Collection of scientific papers*. Kiev: E. O. Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine [in Russian].
9. Paton, B. E. (2018). 25 years of welding in open space. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 14—18 [in Russian].

10. Paton, B. E. (2018). Preface to the collection of scientific papers "Space: Technologies, Materials Science, Designs". *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 10–13 [in Russian].
11. Paton, B. E., Gavrish, S. S., Shulym, V. F., Bulatsev, A. R., Demyanenko, V. V., Kryukov, V. A. et al. (1999). Manual electron beam technological work in space. *Automatic welding*, 10, 7–22 [in Russian].
12. Paton, B., Dzhanibekov, V. Savitskaya, S. (1986). Tested in orbit. *Science and life*, 2, 2–7 [in Russian].
13. Paton, B. E., Dudko, D. A., Bernadskij, V. N., Lapchinskij, V. F. Zagrebel'nyj, A. A. Stesin, V. V. i dr. (1977). Performance of manual electron beam welding in space. *Space materials science and technology*. A. S. Ohotin (Ed.). Moskva: Nauka. P. 17–22 [In Russian].
14. Paton, B. E., Kubasov, V. N. (1970). Experiment on metal welding in space. *Automatic welding*, 5, 7–12 [in Russian].
15. Paton, B. E., Kubasov, V. N. (1979). Ten years of space technology. *Automatic welding*, 12, 1–3 [in Russian].
16. Paton, B. E., Lapchinskij, V. F. (1998). *Welding and related technologies in space tehnology*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
17. Paton, B. E., Nazarenko, O. K., Chalov, V. I., Neporozhnyj, Yu. V., Lebedev, V. K. Zaruba, I. I. et al. (1971). Features of equipment and processes of electron beam welding and cutting in space. *Automatic welding*, 3, 3–8 [in Russian].
18. Paton, B. E., Paton, V. E., Dudko, D. A., Bernadsky, V. N., Dubenko, G. P., Lapchinsky, V. F., et al. (1973). A stand for the study of technological processes in conditions simulating space. *Space research in Ukraine*, 1, 5–8.
19. The first welding in space. URL: <http://www.alfa-industry.ru/news/104/2835/> (Last accessed 01.10.2019).
20. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2016). The railway Minister, Prince M. I. Khilkov (1834–1909): the life and work activities. *History of science and technology*, 6(9), 48–55. URL: <http://hst-journal.com/index.php/hst/article/view/154> (Last accessed 01.10.2019).
21. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2017). Kostiantyn Mykolaiovych Pos'iet (1819–1899): life and activity (to the 200th birthday anniversary). *History of science and technology*, 7(10), 56–63. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2017-7-10-56-63> (Last accessed 01.10.2019).
22. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2018). The thirteenth Minister of Railways of the Russian Empire Hiubbenet Adolf Yakovych (1831–1901). *History of science and technology*, 8(12), 39–52. URL: [https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1\(12\)-39-52](https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1(12)-39-52) (Last accessed 01.10.2019).
23. Stesin, V. V. (2018). V. E. Paton in works on space technologies. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 24–27.
24. Taglina, O. (2010). *Evgenij i Boris Paton*. Kiev: Folio [in Russian].
25. Yas, O. V. (2005). Historiography, as a term. *Encyclopedia of History of Ukraine*. Smolii, V. A. (Ed.). Kyiv: Nauk. dumka. 3. P. 584–591 [in Ukrainian].
26. Garraghan, G. J., Delanglez, J., Appel, L. (1946). *A guide to historical method*. New York: Fordham University Press.
27. Paton, B. E. (1972). Welding in space. *Welding Engineering*, 57(1), 25–29.
28. Paton, B. E., Lapchinskii, V. F. *Welding in space and related technologies*. Cambridge: International Science Publishi, 1997.

Received 08.08.2019

О. Г. Стрелко, О. Я. Пилипчук, Ю. А. Бердниченко

Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина

#### К ПЯТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ПЕРВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СВАРКЕ В КОСМОСЕ

Статья посвящена отражению исторических этапов зарождения идеи, подготовки и проведения первых экспериментов со сварки материалов в космосе, выполненных 16 октября 1969 года советскими летчиками-космонавтами Георгием Степановичем Шониным и Валерием Николаевичем Кубасовым на космическом корабле «Союз-6». Оценен вклад как отдельных специалистов, так и целых организаций в решении задач подготовки эксперимента, разработки и изготовления необходимого оборудования. Показано ведущую роль в решении указанных задач группы украинских ученых Института электросварки им. Е. О. Патона на главе с академиком Борисом Евгеньевичем Патоном. Исследованы четырехэтапную периодизацию разработки, изготовления и тестирования оборудования и подготовки эксперимента по сварке в космосе. Показана важность результатов экспериментов в условиях, имитирующих космические, для подготовки проведения эксперимента непосредственно в условиях космоса. Проведенные исследования позволили выявить наиболее характерные особенности сварки в условиях невесомости и вакуума. Показано, что именно путем детального анализа результатов проведенных наземных экспериментов, а также экспериментов на летающей лаборатории ТУ-104, были отобраны наиболее перспективные методы сварки в условиях космоса, а именно: электронно-лучевая сварка, сварка плавящимся электродом и сварка жатой дугой. Рассмотрены особенности технических решений, которые были воплощены при разработке и изготовлении комплексного, полностью автономного устройства для сварки «Вулкан», который позволял выполнять на орбите в автоматическом режиме электронно-лучевая сварка, сварка жатой дугой низкого давления и дуговая сварка плавящимся электродом. Показано, что определяющий вклад в разработку сварочной установки «Вулкан» и подготовку первого в мире эксперимента по сварке в космосе сделали украинские ученые Института электросварки им. Е. О. Патона и Института электродинамики.

**Ключевые слова:** история космонавтики, сварка в космосе, сварочная установка «Вулкан», вклад украинских ученых.



*O. H. Strelko, O. Ya. Pylypchuk, Yu. A. Berdnychenko*  
State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine

#### THE FIFTIETH ANNIVERSARY OF THE FIRST SPACE WELDING EXPERIMENT

The article describes the historical stages of the idea emergence, preparation, and conducting of first space welding experiments on October 16, 1969, by Soviet cosmonauts Georgy Stepanovich Shonin and Valery Nikolaevich Kubasov on-board the spacecraft «Soyuz-6».

The assessment of the contribution of individual specialists and entire organizations in the preparation of the experiment, the development, and manufacture of the necessary equipment was made.

A leading role of a group of Ukrainian scientists of the E. O. Paton Institute of electric welding, headed by academician Boris E. Paton, in solving these problems is shown. The four-stage periodization in the development, manufacture, and testing of equipment and preparation of the space welding experiment is considered. The importance of the results of experiments in conditions simulating the space ones for the prepara-

tion of the experiment directly in space is demonstrated. The preliminary studies gave the possibility to identify the most characteristic features of zero gravity and vacuum welding.

It is shown that the most promising welding techniques in the space environment were selected by a detailed analysis of the results of the ground experiments and experiments on the flying laboratory TU-104. Among them, there were electron beam welding, consumable electrode welding, and plasma arc welding.

The features of the technical solutions implemented in the design and manufacture of a complex, fully automated device for welding «Volcano» are considered. The «Volcano» device provides the use of the automatic mode of all three welding methods on the orbit.

It is shown that a decisive contribution to the development of the «Volcano» welding machine and the first space welding experiment was made by Ukrainian scientists of the E. O. Paton Institute of electric welding and the Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine.

**Keywords:** history of space exploration, space welding, welding machine «Volcano», the contribution of the Ukrainian scientists.