

ВИСОКОЧАСТОТНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ЖИВИХ ТКАНИН (Огляд)

Г.С. Маринський¹, В.А. Ткаченко¹, В.О. Бисько¹, С.Є. Подпратов^{1,2}, С.С. Подпратов^{1,2}, С.Д. Грабовський¹, С.В. Ткаченко¹

¹ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua,

²Київська міська клінічна лікарня № 1. 02091, м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. E-mail: kerz@ukr.net

Технологія та обладнання для високочастотного зварювання та обробки (коагуляція, різання) живих тканин в хірургії все ширше використовуються в медичній практиці в багатьох країнах світу. В даній роботі, що була виконана як на базі представлених в мережі Інтернет матеріалів, так і власних матеріалів авторів, наданий загальний огляд найбільш типових представників такого базового обладнання, яке пропонується основними провідними світовими виробниками. Наведено та проаналізовано основні особливості та переваги відповідного обладнання, як це декларується його розробниками. Робота призначена як для користувачів так і для розробників нового устаткування. Бібліогр. 26, табл. 1, рис. 15.

Ключові слова: електрозварювальна хірургія, високочастотне зварювання живих тканин, обладнання, світові виробники

Вступ. Технологія та обладнання для високочастотного (ВЧ) зварювання та обробки (коагуляція, різання) живих тканин в хірургії все ширше використовуються в медичній практиці в багатьох країнах світу. Слід відзначити, що хоч термін «зварювання», вперше започаткований стосовно з'єднання живих тканин в медицині України, все частіше використовується в іноземній літературі, в тій чи іншій формі, але там він здебільше відноситься до перекриття судин. В Україні термін «зварювання» живих тканин більше розширений, а за різноманітністю електрохірургічних зварювальних процедур [1–4] Україна, безумовно, є світовим лідером.

У даний час у світі виробляється велика кількість високоякісного електрохірургічного обладнання, включаючи зварювальне, яке постійно еволюціонує та удосконалюється. Фактичні потреби в такому обладнанні безупинно зростають, а обсяги світового ринку сягають мільярди доларів США [5]. За нашою приблизною оцінкою, потенційна ємність українського ринку у зварювальних електрокоагуляторів складає щонайменше 1,5...2,0 тис. шт.

Загальні характеристики та вимоги. Особливості конструкції та структура. В загальному вигляді обладнання для зварювання живих тканин являє собою ВЧ генератор потужністю на виході, як правило, 15...300 Вт, до якого під'єднаний необхідний інструментарій, через який ВЧ струм безпосередньо впливає на біологічні тканини при монополярній (рис. 1, а) або біполярній (рис. 1, б) схемах підключення [6].

Принциповою відмінністю схем підключення є те, що в разі застосування монополярної схеми до органу, що оперується, підводиться лише один вихід генератора (один електрод), в той час як другий підкладається під тіло пацієнта. У разі застосування біполярної схеми обидва виходи генератора (обидва електроди) підводяться безпосередньо до інструменту. Відповідно, струм протікає між електродами інструмента в дуже обмеженій зоні, що оперується (рис. 2).

Обидві схеми мають свої переваги та недоліки, та широко використовуються на практиці, доповнюючи одна одну. Робоча частота струму на виході генератора, лежить в діапазоні від 300 кГц і вище, як правило, становить 400...500 кГц. Нижній поріг частоти та інші обмеження на застосування частотних діапазонів обумовлені обмеженнями, що накладаються відповідними нормами та стандартами [6]. Слід, однак, відзначити, що існує позитивний практичний досвід використання робочої частоти 66 кГц при біполярній схемі підключення інструментів, що обумовлено, серед іншого, зменшенням втрат у кабелях підключення інструментів зі зниженням частоти струму. Це особливо помітно під час роботи з високою потужністю. Робоча напруга та сила струму, які подаються в зону дії, вибираються, виходячи із характеру живої тканини, яка оперується, схеми підключення та інше.

Головні виробники. На даний час електрохірургічне обладнання, що використовується, або може використовуватися для зварювання живих тканин, виробляється багатьма провідними ком-

Маринський Г.С. – <http://orcid.org/0000-0003-0753-0154>, Подпратов С.С. – <http://orcid.org/0000-0003-1350-7532>,

Бисько А.В. – <http://orcid.org/0000-0003-1574-5630>, Грабовський С.Д. – <http://orcid.org/0000-0002-9082-4059>,

Ткаченко В.А. – <http://orcid.org/0000-0003-2983-778X>, Ткаченко С.В. – <http://orcid.org/0000-0002-5524-6273>,

Подпратов С.С. – <http://orcid.org/0000-0001-5942-6311>

© Г.С. Маринський, В.А. Ткаченко, В.О. Бисько, С.Є. Подпратов, С.С. Подпратов, С.Д. Грабовський, С.В. Ткаченко, 2023

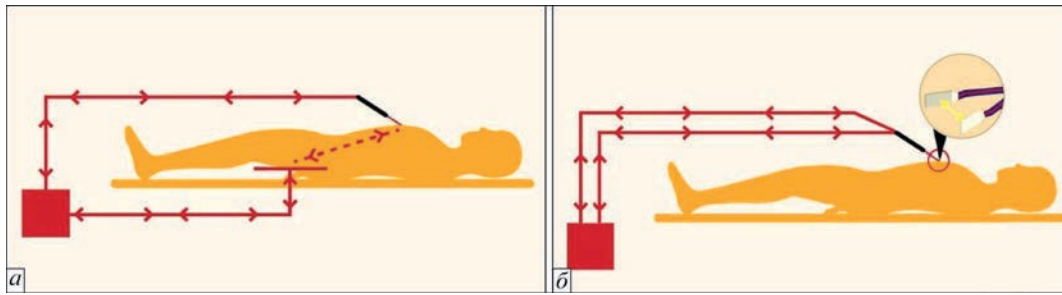


Рис. 1. ВЧ генератор: *a* – монополярна схема; *б* – біполярна схема

паніями різних країн світу. Це, перш за все, Медтронік та Джонсон-енд-Джонсон (США), ЕРБЕ, Мартін і Бова (Німеччина) та ін. [7]. Є серед них і українські виробники такі як ТОВ «Контакт» та ТОВ «НДІ прикладної електроніки» (Україна), «Патонмед» (Україна) та деякі інші.

Американська корпорація Medtronic plc – це один із найбільших у світі виробників медичного обладнання, що має операційну та виконавчу штаб-квартиру в м. Міннеаполіс, штат Міннесота (США). У 2015 р. Medtronic оголосив про успішне завершення придбання компанії Covidien plc. Відповідно до умов договору про придбання, Medtronic Inc. та Covidien plc об'єднані в компанію Medtronic plc. На сьогодні, згідно з оприлюдненими даними, в компанії працює близько 90 тис. співробітників, включаючи понад 11 тисяч вчених та інженерів. Вона присутня на ринку більш ніж 150 країн. В минулому році її дохід склав 31,69 млрд USD [8].

Компанія Covidien, а зараз вже Medtronic plc пропонує апарати ValiLab™, що реалізують технологію LigaSure™ [9]. Технологія LigaSure – це технологія біполярного перекриття судин за допомогою ВЧ струму. Програма зворотного зв'язку яка використовується для регулювання дози прикладеної енергії, залежить від об'єму тканини, щільності судин та реалізує обмеження тепла, що виділяється в цільовій тканині. Як запевняють розробники [10], технологія LigaSure™, що заснована на енергетичних платформах

ValleyLab™, продовжує залишатися найпередовішою технологією заварювання та дисекції судин у світі.

Розробники гарантують, що:

- за одну секунду LigaSure™ 434000 разів вимірює імпеданс тканин, обчислює та регулює рівень поданої енергії за допомогою унікального алгоритму;

- протягом двох секунд LigaSure™ надійно та стабільно перекриває судини діаметром до 7 мм, які витримують 3-кратний нормальний систолічний тиск;

- за три секунди хірург, який використовує технологію LigaSure™, може запечатати судину, розсікти її та безпечно перейти до наступної частини процедури завдяки швидшому часу охолодження (до < 60° менше ніж за одну секунду), що досягається крім усього також використанням унікального нанопокриття.

Слід зазначити, що порівняльні випробування, які відбулися в березні 2018 р. за участі авторів в центрі Medtronic в Шанхаї, показали, що вітчизняна технологія перекриття судин, реалізована на апаратах ЕКВ3-300 «Патонмед™» не поступається технології LigaSure™.

В якості прикладу, обладнання цієї фірми можна навести апарат ValleyLab™ FT10 (рис. 3), в якому реалізовані технології LigaSure™ [12].

Як запевняють розробники [11], цей пристрій забезпечує:

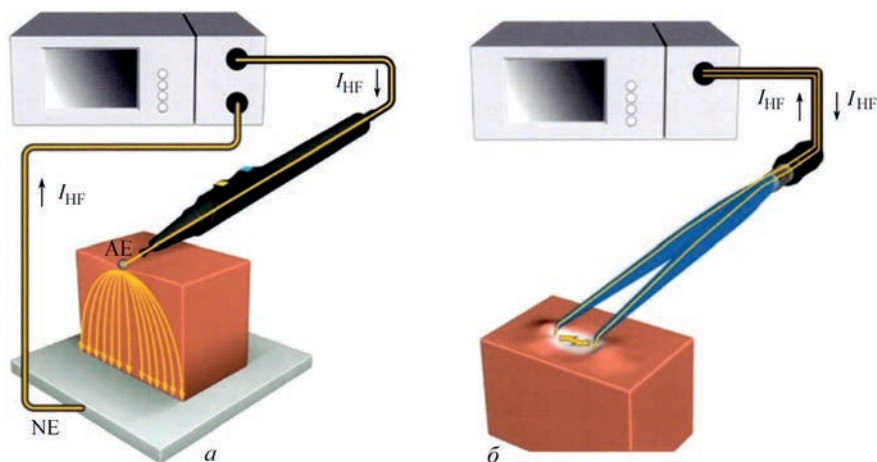


Рис. 2. Проходження струму при монополярній (*a*) та біполярній (*б*) схемах



Рис. 3. Зовнішній вигляд апарата ValleyLab™ FT10

- поліпшену ефективність системи електролігування LigaSure™;
- система TissueFect™ сканує опір тканини та адаптує характеристики енергії, що подається з частотою 434 кГц;
- автоматичне розпізнавання інструменту та автоматична адаптація потужності мінімізує час налаштування апарата перед та під час операції;
- один сенсорний екран зі спрощеним управлінням;
- підключення до Інтернету та ексклюзивна система оновлення програмного забезпечення Valleylab™ Exchange;
- унікальний режим Valleylab™ для покращеної дисекції з гемостазом;
- адаптивна система REM™ (система стеження за нейтральним електродом пацієнта);
- режим Автобіполяр, режим М'яка коагуляція;
- вага 10,1 кг;
- габарити 368×462×178 мм.

Прикладом більш доступного та компактного приладу цієї фірми є апарат Valleylab™ LS10 (рис. 4) [12], призначений для перекриття судин. При вазі 5,5 кг він має габарити 300×377×105 мм та легко транспортується. Забезпечує швидке (за 2...4 с) заварювання судин діаметром до 7 мм. Використовує оптимальні характеристики енергії для досягнення заварювання судин та масивів тканин з мінімальним розповсюдженням тепла. Апарат має спрощену панель керування з однією кнопкою «on/off» та одне гніздо підключення інструмента за принципом «підключай та працюй». Апарат ви-



Рис. 4. Зовнішній вигляд апарата Valleylab™ LS10

значає, який інструмент підключено в даний час та автоматично налаштовує робочі параметри приладу для швидкого та стабільного результату перекриття судин.

Більш складним багато функціональним приладом фірми є апарат (Енергетична платформа) ForceTriad™ (рис. 5) [13, 14].

Це повнофункціональна електрохірургічна система, яка забезпечує електрохірургічне різання, коагуляцію та біполярну герметизацію судин в одному генераторі LigaSure™.

Енергетична платформа цього апарату призначена для відкритих та лапароскопічних хірургічних процедур і включає:

- технологію зондування TissueFect™ для всіх типів тканин;
- режим Valleylab™ для електрохірургії;
- технологія перекриття LigaSure™ для герметизації судин.

Як запевняють розробники [14, 15], енергетична платформа ForceTriad™ – єдина в галузі повнофункціональна енергетична платформа з можливостями дистанційного оновлення програмного забезпечення. Використовуючи систему оновлення програмного забезпечення Valleylab™ Exchange, пристрій можна легко оновити на місці, надаючи хірургам, медсестрам і пацієнтам можливість найсучасної технології.

Сенсорна технологія TissueFect™ – це система контролю Covidien, призначена для точного управління постачанням енергії, створюючи низку варіантів для бажаного ефекту впливу на тканину.

Покращена технологія зварювання тканин LigaSure™ з'єднує судини діаметром до 7 мм включно, та пучки тканин.

Біполярна резекція з програмованим додаванням фізіологічного розчину дозволяє хірургам виконувати різноманітні урологічні та гінекологічні процедури в солоному середовищі.

В апараті реалізовано автоматичне розпізнавання інструменту. Пристрій, побудований за принципом «все в одному» сумісний зі звичайними електрохірургічними інструментами та всіма поточними та новими інструментами LigaSure™.

Цикли зварювання є швидшими, ніж у оригінального генератора при герметизації судин LigaSure™. Режим Valleylab™ забезпечує уні-



Рис. 5. Зовнішній вигляд апарата ForceTriad™

кальну комбінацію монополярного гемостазу та дисекції.

Компанія Ethicon, яка входить до складу такого гіганту як корпорація Johnson&Johnson [15], продукція якої відома в усьому світі, представлена на ринку зварювальних електрокоагуляторів апаратом MEGADYNE™ [16] (рис. 6). Як заявляють розробники, завдяки оптимізованому зручному дизайну та оптимізованій подачі енергії, електро-хірургічний генератор MEGADYNE™ є простим, але розумним вибором серед монополярних і біполярних джерел живлення для виконання різноманітних медичних операцій.

Цей пристрій, що передбачає роботу в монополярному та біполярному режимах, має великий дисплей, які легко читаються, та інтуїтивно зрозумілий режим налаштування потужності. В ньому є візуальна індикація протікання робочого струму. Є також послуга виклик останнього використовуваного режиму. Великий яскравий дисплей. Вага генератора 7,7 кг. Габарити 368×439×179 мм.

Корпорація KLS Martin Group (Німеччина, США), має свої відділення та представництва по всьому світу, пропонує на ринок чисельне медичне обладнання та інструментарій, включаючи електро-хірургічне для гемостазу та перекриття судин [17–21]. Серед такого обладнання зупинимось на їх новітній розробці – апараті maXium® Smart C (рис. 7).

Як запевняють розробники [21], електрохірургічний апарат maXium smart C поєднує перевірений інтерфейс користувача maXium® з ефектом налаштування потужності maXium®, який використовується при коагуляції, чим досягається максимальна продуктивність у всіх діапазонах потужності.



Рис. 6. Електрохірургічний генератор MEGADYNE™



Рис. 7. Зовнішній вигляд апарата maXium® smart C [21]

Використана в даному пристрої біполярна система герметизації судин SealSafe® IQ дозволяє ефективно герметизувати судини або пучки тканин без будь-якої необхідності попередньої підготовки або детального оголення тканини, яку потрібно герметизувати. Завдяки програмі забезпечення точного струму SealSafe® IQ, спеціально адаптованого до такого типу застосування та спеціальних інструментів, герметизується лише тканина, розташована між губками інструменту. В результаті бічні термічні пошкодження навколишніх тканин зменшуються.

Апарат maXium® smart C доступний у трьох версіях, та має: інформативний екран, пам'ять на попередні налаштування (до 500 слів пам'яті), безперервне відображення основних параметрів приладу.

На додаток до високочастотної частини апарати maXium® smart C можуть бути поєднані з системою подачі аргону для рішення проблем, пов'язаних з розширеною поверхневою кровотечею в паренхіматозних тканинах, з якою важко впоратися за допомогою класичної коагуляції. Таким чином, на думку розробників, аргонно-плазмова коагуляція є ідеальним доповненням до звичайних ВЧ методів.

У поєднанні з серією maXium® smart Line, має ще: систему для забезпечення ефективного гемостазу, та може використовуватися кількома способами; систему maXium® Veamer, яка при проведенні операцій зменшує карбонізацію тканин і, таким чином, прискорюється процес загоєння ран. Завдяки низькій глибині проникнення ВЧ струму також значно знижується ризик перфорації.

Компанія Vowa medical [22] є провідним постачальником повного спектра інноваційних енергетичних хірургічних систем виробництва Німеччини. Як заявляють розробники [22], продукти та системи ідеально адаптовані до вимог повсякденного медичного обслуговування в лікарнях і вражають своєю високою гнучкістю та безпекою. На відміну від лідерів глобального ринку портфель продукції компанії BOWA невеликий, але сфокусований на електрохірургії. А цільові ринки – це Європейський Союз (переважно Німеччина), країни східної Європи, країни Азії, країни СНД та Україна.

Серед приладів, які випускає компанія Vowa medical, розглянемо апарати серії ARC (рис. 8).



Рис. 8. Апарат серії ARC



Рис. 9. Лицьова панель апарату ARC з різною кількістю роз'ємів



Рис. 10. Зовнішній вигляд апарату ECONT-0201.2



Рис. 11. Зовнішній вигляд апарату ECONT-0201.3 разом із аргонною станцією

Ця серія складається з декількох модифікацій, які відрізняються між собою за максимальною вихідною потужністю (від 100 до 400 Вт) та функціональними можливостями.

Так апарат ARC100 має максимальну потужність 100 Вт та комплектується медичними інструментами, розрахованими на цю потужність (пінцетами та монополярними скальпелями).

Більш потужні апарати, наприклад ARC400, мають більший функціонал та комплектуються інструментами, розрахованими на потужність 400 Вт (затискачі з розміром до 280 мм, спеціальні інструменти ERG310, Night NIFF, LIGATOR, біполярні ножиці тощо). Вихідні потужності та програмне забезпечення дозволяє використовувати ці апарати в хірургії, гінекології та урології [22].

В апаратах серії ARC реалізовані такі зручні функції: діалогове керування та адаптивний дисплей; зняття інформації з апарату та оновлення програмного забезпечення за допомогою програм, які записані на USB-носіях. Це значно полегшує



Рис. 12. Зовнішній вигляд апарату «Надія 4» ЕКВЧ-300

повсякденну роботу персоналу лікарні. Нове покоління ARC просте в обслуговуванні. Доступні 5 варіантів конфігурації в залежності від вимог до операційного втручання. Кількість роз'ємів (монополяр або біполяр) варіюються від одного до двох кожного (рис. 9).

В апараті існує функція COMFORT для автоматичного розпізнавання інструментів та контролю циклів використання. Програма «Майстер налаштувань» у діалоговому режимі допомагає створювати та оптимізувати конфігурацію апарату ARC.

Максимальна потужність в режимі MONOPOLAR – 400 Вт (на 200 Ом), а в режимі BIPOLAR – 200 Вт (на 75 Ом). Вага 12,5 кг. Габарити 430×140×470 мм

Українські компанії. Компанія «Контакт», що базується у м. Київ, присутня на ринку високотехнологічного ендоскопічного обладнання для малоінвазивної хірургії починаючи з 2001 р. [23]. Компанія розробляє і виробляє ендоскопічні апарати і системи для лапароскопії, артроскопії, риноскопії, торакоскопії, гінекології та урології. Компанія має в своєму здобутку наступні апарати: електрохірургічні апарати ECONT-0201.1, ECONT-0201.2 (рис. 10) та ECONT-0201.3 (рис. 11), який позиціонується розробниками як сучасна електрохірургічна система експертного класу [23].

Ці багатофункціональні апарати мають максимальну вихідну потужність до 300 Вт.

Ось деякі із заявлених розробниками особливостей та переваг системи ECONT-0201.3.

Особливості системи ECONT-0201.3: два монополярні канали; один біполярний канал; кольоровий дисплей TFT; система контролю ланцюга



Рис. 13. Зовнішній вигляд апарату EKV3-300

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

нейтрального електрода (ANECs); широкий набір сучасних режимів електрохірургії; інтерактивна візуальна система допомоги під час роботи (InViNS help); постійний самоконтроль критич-

них систем (ART-SCS); 100 наборів режимів (програма), що запам'ятовуються.

Переваги системи ЕКОНТ-0201.3: спеціальні режими аргано-плазмової коагуляції (АПК) для загальної хірургії, лапароскопії та гнучкої ендоскопії з підтримкою аргано-плазмового розряду починаючи з 5 Вт та відстанями до оброблюваної тканини до 15 мм; спеціальні моно- та біполярні режими для артроскопії; спеціальні моно- та біполярні режими для урології та гінекології; повністю автоматична система зварювання судин; спеціальні режими для поліпектомії/папілотомії [23].

Нижче наведені деякі основні режими для біполярного різання, коагуляції та зварювання.

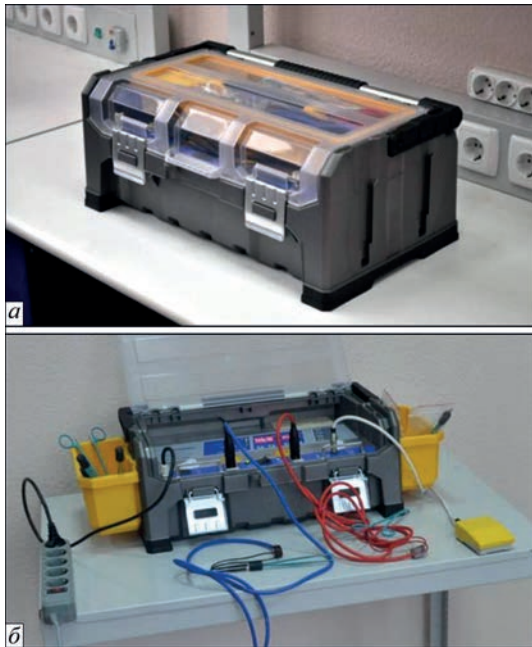


Рис. 14. Зовнішній вигляд мобільної версії апарату ЕКВ3-300 в транспортному (а) та робочому (б) положенні



Рис. 15. Зовнішній вигляд апарату ЕКВ3-300-2

Таблиця. Порівняльні технічні характеристики електрохірургічних апаратів «Надія 4»

Максимальна потужність у режимах	ЕХВЧ-300РК	ЕХВЧ-300 Модель-200	ЕХВЧ-200			ЕХВЧ-120	
			Модель-200РХ	Модель-120	Модель-120РХ/1,76	Модель-120РХ/3,5	
Монополярне різання-1	300 Вт	300 Вт	200 Вт	200 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт
Монополярне різання-2 (змішане)	200 Вт	200 Вт	200 Вт	200 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт
Біполярне різання-1	300 Вт	–	–	–	–	–	–
Біполярне різання-2 (перекриття)	300 Вт	–	–	–	–	–	–
Монополярна коагуляція-М	–	200 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт
Монополярна коагуляція-М1	250 Вт	–	–	–	–	–	–
Монополярна коагуляція-М (форсована)	120 Вт	–	–	–	–	–	–
Біполярна коагуляція Б	–	120 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт	120 Вт
Біполярна коагуляція Б1	120 Вт	–	–	–	–	–	–
Біполярна коагуляція Б2 (з підвищеним опором тканин)	120 Вт	–	–	–	–	–	–
Потужність споживання	600 Вт	600 Вт	450 Вт	450 Вт	450 Вт	300 Вт	300 Вт
Робоча частота	440 кГц	440 кГц	440 кГц	1,76 МГц	440 кГц	1,76 МГц	3,5 МГц
Габаритні розміри:							
електронний блок				(290×215×125) мм			
педаль управління				(230×195×45) мм			
Вага комплексу	<6 кг		<4,5 кг				

Біполярне різання/(гемостаз 0...7 мм), 100 Вт. Біполярна коагуляція: мікро – 60 Вт, 100 Ом; стандартна – 100 Вт, 100 Ом; авто – 300 Вт, 20 Ом. Зварювання судин: лапароскопічний інструмент 5 мм – 100 Вт, 20 Ом; лапароскопічний інструмент 10 мм – 300 Вт, 20 Ом; загальна хірургія – 300 Вт, 20 Ом.

Загальні характеристики: робоча частота 440 кГц, напруга живлення 220 В, споживана потужність 690 Вт, вага 8,0 кг, габарити 350×140×350 мм.

ТОВ МНВК «Науково-дослідний інститут прикладної електроніки» м. Київ, представлене на вітчизняному ринку електрохірургічними апаратами під назвою «Надія 4» [24]. На сьогодні це ціла лінійка апаратів, що відрізняються як потужністю, так і своїми технологічними можливостями наведеними в таблиці. Як видно із представлених матеріалів, хоч розробники і не позиціонують дані апарати як зварювальні, вони значною мірою відповідають необхідним вимогам, що слугує основою для включення даного обладнання в цей огляд. Слід відзначити, що наряду з апаратами з робочою частотою 440 кГц, яка може вважатися стандартною для такого роду апаратури, представлені апарати, що працюють на частоті 1,76 МГц та, навіть 3,5 МГц. Зовнішній вигляд апарату «Надія 4» представлено на рис. 12.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона (ІЕЗ) м. Київ представляє на вітчизняному ринку електрохірургічні апарати під торговою маркою «Патонмед™». На сьогодні ІЕЗ представлений апаратом ЕКВЗ-300 (електрокоагулятор високочастотний зварювальний). Цей прилад, базова конструкція якого була розроблена в 2010–2011 рр., успішно використовується в медичній практиці України починаючи з 2012 р. в багатьох спеціальностях: від абдомінальної хірургії до офтальмології.

Особливістю його конструкції є багатофункціональність, яка забезпечується можливістю програмування під особливості застосування в медицині чи ветеринарії, а також під потреби конкретного користувача (хірурга).

Функціональна схема ЕКВЗ-300 забезпечує роботу в режимах: біполярного різання, ручного зварювання – керованої хірургом імпульсної коагуляції, та автоматичного зварювання.

Предбачена можливість одночасного підключення двох інструментів з перемиканням між ними та одномоментної роботи ними в режимі однієї керівної педалі.

Робоча частота апарату ЕКВЗ-300 «Патонмед» – 440 кГц, максимальна вихідна потужність 300 Вт. Вага 7,5 кг. Габарити 410×400×130 мм.

З часу його розробки цей апарат постійно удосконалюється (рис. 13) [25]. На сьогодні він має велику різноманітність алгоритмів роботи та пара-

метрів роботи залежно від типу операції, яку потрібно виконати. В цьому апараті можлива адаптація, коригування та завантаження додаткових програм за бажанням користувача. Предбачена можливість запам'ятовування та використання «улюблених» програм та алгоритмів. Можливо використання інструментів інших виробників.

Алгоритм роботи сучасних апаратів ЕКВЗ-300, що досить детально висвітлений в патенті [25, 26], та відповідне оригінальне програмне забезпечення гарантує надійне виконання необхідних задач при зварюванні живих тканин.

Крім стаціонарного варіанту була розроблена його мобільна (рис. 14) та інші модифікації. Мобільна версія, яка має такі самі технічні характеристики що і стаціонарна, зручна при необхідності частого транспортування апарату та при роботі поза стаціонарної операційної, наприклад, у ветеринарії.

Подальшим розвитком цієї серії є апарат ЕКВЗ-300-2 «Патонмед™», в якому реалізовані новітні алгоритми зварювання, що ґрунтуються на багаторівневих зворотніх зв'язках. Завдяки цьому є поетапна оцінка якості тканини, що зварюється, і регулюється подача потужності (рис. 15). Це забезпечує покращені функціональні показники з'єднання тканин. Даний прилад має великий рідиннокристалічний дисплей. У цьому апараті реалізовано функцію розпізнавання підключеного інструменту, та автоматичної зміни параметрів та алгоритмів роботи, згідно з особливостями підключеного інструменту. Має вбудовану систему самоконтролю та активації підказок хірургу. Контролює справність підключеного до апарату інструменту. Має можливість візуалізації змін параметрів тканини в процесі з'єднання, що дозволяє проводити наукові дослідження та мати зворотній зв'язок по якості з'єднання.

Слід зазначити, що в рамках однієї статті неможливо висвітлити всю гаму обладнання для такої перспективної галузі як зварювання живих тканин у медицині та ветеринарії. Автори представили найбільш характерні зразки.

Висновки

1. Велика кількість моделей свідчить про гостру конкурентну боротьбу на ринку електрохірургічної апаратури, яка вже стала звичною.

2. Всі без винятку розглянуті апарати мають близькі заявлені технічні характеристики, які зумовлені вимогами до технічних параметрів медичної радіочастотної апаратури, впливу і відрізняються в основному ергономікою, конструктивним виконанням та притаманними їм функціями.

3. Більшість апаратів поєднують в собі можливості працювати як по біполярній, так і по моно-

полярній схемам. Використання монополярного інструменту зумовлене популярністю та звичністю для хірурга тонкого швидкого ріжучого впливу такого інструменту.

4. У деяких апаратах високочастотний блок об'єднаний з іншими технологічними блоками, наприклад, аргано-плазмовим або блоком для конвекційно-інфрачервоною обробки тканин, з орієнтуванням на спеціалізовані галузі хірургії, де є вимога потужного впливу по площі на невелику глибину (наприклад, хірургія печінки).

5. Всі виробники прагнуть досягнути максимальної автоматизації процесу, зводячи до мінімуму вплив виконавця на оцінку внутрішніх характеристик тканини. Принцип використання полягає у залученні хірурга до правильного вибору режиму та інструменту відповідно до встановлених виробником умов використання в хірургії. У той же час, оцінку стану тканини в процесі її обробки та дозування впливу на неї покладають на алгоритми апаратів.

6. Розроблені ІЕЗ ім. Є.О. Патона апарати серії ЕКВЗ-300 за своїми технічними характеристиками повністю відповідають кращим світовим стандартам.

7. У функціонал розроблених ІЕЗ ім. Є.О. Патона електрозварювальних апаратів серії ЕКВЗ-300 закладені програми, створені на основі результатів розробок українських дослідників, лікарів у галузях абдомінальної хірургії, торакальної хірургії, проктології, офтальмології, нейрохірургії, онкології та гінекології.

Список літератури/References

1. Патон Б.Е., Иванова О.Н. (2009) *Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия*. Атлас. Киев, Междунар. ассоциация «Сварка».
2. Paton, B.E., Ivanova, O.N. (2009) *Tissue-saving high-frequency electric welding surgery*. Atlas. Kyiv, IAW [in Russian].
3. Podpriatov, S.S., Podpriyatov, S.E., Marynsky, G.S. et al. (2022) The experimental biologic and structural grounds of clinical advantages for next-generation, sutureless, bio-welded gut anastomosis. In: *17th Int. Conf. of Colonoproctologists ESC22ABS-1742 (Dublin, Ireland, 21-23 September 2022)*.
4. Пасечникова Н.В., Науменко В.А., Уманец Н.Н. (2011) Наш опыт применения способа высокочастотной электросварки биологических тканей в ходе эндовитреальных вмешательств. *Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития: Материалы шестого междунар. семинара, 2-3 дек. 2011 г., Киев, ИЭС им. Е.О. Патона*. Pasechnikova, N.V., Naumenko, V.A., Umanets, N.N. (2011) Our experience of application of high-frequency electric welding of live tissues during endovitrebral interventions. In: *Proc. of 6th Int. Seminar on Welding of Soft Live Tissues. State-of-the-Art and Prospects of Development (Ukraine, Kyiv, 2-3 December 2011)*.
5. Messenger, D., Carter, F., Noble, E. et al. (2020) Electrosurgery and energized dissection. *Surgery (Oxford)*, 38(3), 133–138. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mpsur.2020.01.006>
6. *Electrosurgical Generators Market Share 2025. Growth Analysis. Global Market Insights Inc.* <https://www.gminsights.com/industry-analysis/electrosurgical-generators-market>.
7. *Electrosurgical device market share by company globally 2016. Statista.* <https://www.statista.com/statistics/909626/electrosurgical-devices-market-share-by-top-company>.
8. *Engineering the Extraordinary. Medtronic.* <https://www.medtronic.com/uk-en/index.html>.
9. *LigaSure™ Technology. Medtronic.* <https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/vessel-sealing/ligasure-technology.html>.
10. *LigaSure™ 123. Medtronic.* https://www.medtronic.com/covidien/en-gb/products/vessel-sealing/ligasure-123.html?cid=PPC:GOOG:branded:UK_EN_SI_LigaSureTechnology12.
11. *Energy product catalogue.* <https://asiapac.medtronic.com/content/dam/covidien/library/emea/en/product/electrosurgical-hardware-and-accessories/weu-energy-catalogue-2020.pdf>.
12. *Valleylab™ LS10 Generator. Medtronic (UK).* <https://www.medtronic.com/covidien/en-gb/products/electrosurgical-hardware/valleylab-ls10-generator.html>.
13. *ForceTriad™ Energy Platform. Medtronic Animal Health.* <https://www.medtronic.com/animal-health/en-us/products/electrosurgical-hardware/forcetriad-energy-platform.html>.
14. *Коагулятор Medtronic Force Triad. Medicalstore.* <https://medicalstore.com.ua/product/medtronic-force-triad>. *Coagulator Medtronic Force Triad. Medicalstore.* <https://medicalstore.com.ua/product/medtronic-force-triad>.
15. *Johnson & Johnson. Content Lab U.S.* <https://www.jnj.com>.
16. *MEGADYNE™ Electrosurgical Generator. Ethicon, a Johnson & Johnson MedTech Company.* <https://www.jnjmedtech.com/en-US/product/megadyne-mega-power-electrosurgical-generator>.
17. *Electrosurgery. KLS Martin. Surgical Innovation is our Passion.* <https://www.klsmartin.com/en/products/electrosurgery/>.
18. *Electrosurgery. KLS Martin. Surgical Innovation is our Passion.* <https://www.klsmartin.com/en/products/electrosurgery/#c4014>.
19. *Electrosurgery. KLS Martin. Surgical Innovation is our Passion.* <https://www.klsmartin.com/en/products/electrosurgery/#c4009>.
20. *Electrosurgery unit maxium®. KLS Martin. Surgical Innovation is our Passion.* <https://www.klsmartin.com/en/products/electrosurgery/electrosurgery-units/major-electrosurgery-units/maxium/>.
21. *BOWA MEDICAL Electrosurgery.* <https://www.bowa-medical.com/?lang=en#gref>.
22. *The new ARC generation BOWA MEDICAL.* <https://www.arc-electrosurgery.com/en/>.
23. *Система электрохирургическая, продвинутая модель. Contact Co.* <https://contact-endoscopy.com/ru/electrosurgical-system/>. *Electrosurgical system, advanced model [in Russian]. Contact Co.* <https://contact-endoscopy.com/ru/electrosurgical-system/>.
24. *Надія-4. Апарат високо частотний електрохірургічний.* <http://www.xn--4-6kq7b0g0b.com.ua>. *Nadiya-4. High-frequency electrosurgical unit [in Ukrainian].* <http://www.xn--4-6kq7b0g0b.com.ua>.
25. Ткаченко В.А., Маринський Г.С., Подприатов С.Є. та ін. (2022) *Електрокоагулятор високо частотний зварювальний ЕКВЗ-300 «Патонмед»*. Патент України на корисну модель № 151770, МПК А61В18/12(2006.01) Опубл. 14.09.2022, бюл. № 37/2022. Tkachenko, V.A., Marynskyi, G.S., Podpriyatov, S.E. et al. (2022) *High-frequency welding electrocoagulator EKVZ «Patonmed»*. Pat. Ukraine on utility model 151770, Int. Cl. A61B18/12(2006.01), Publ. 14.09.2022 [in Ukrainian].
26. Патон Б.Є., Ткаченко В.А., Маринський Г.С. та ін. (2014) *Спосіб з'єднання зварюванням біологічних тканин людей і тварин з використанням високо частотного струму*. Патент України № 106513. Опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17/2014. Paton, B.E., Tkachenko, V.A., Marynsky, G.S. et al. (2014) *Method of joining by welding of human and animal biological tissues using high-frequency current*. Pat. Ukraine 106513, Publ. 10.09.2014 [in Ukrainian].

HIGH-FREQUENCY EQUIPMENT FOR LIVE TISSUE WELDING (Review)

G.S. Marynskyi¹, V.A. Tkachenko¹, V.O. Bysko¹, S.E. Podpryatov^{1,2}, S.S. Podpryatov^{1,2}, S.D. Grabovskiy¹, S.V. Tkachenko¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Kyiv City Clinical Hospital No. 1. 121 Kharkyvske Hwy, 02091, Kyiv, Ukraine. E-mail: kcrz@ukr.net

Technology and equipment for high-frequency welding and treatment (coagulation, cutting) of live tissues in surgery is ever wider used in medical practice of many countries of the world. This work, which has been performed on the base of both the materials posted on the Internet and authors' own materials, is a general review of the most typical representatives of such basic equipment, which is proposed by the leading world manufacturers. The main features and advantages of the respective equipment are given as claimed by its developers. The work is designed both for users and for developers of new equipment. 26 Ref., 1 Tabl., 15 Fig.

Keywords: electric welding surgery, high-frequency welding of live tissues, equipment, world manufacturers

Надійшла до редакції 12.12.2022

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ВИРОБНИЦТВО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

У 2018 р. засновано R&D центр, який об'єднав компетенції ПрАТ «ПлазмаТек» та Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Задача центру – створення конкурентних інноваційних розробок і технологічних рішень та забезпечення промисловості принципово новими методами виробництва. Технологічним ядром центру є обробка матеріалу високоенергетичним пучком електронів. В результаті проведених фізичних експериментів виявлено, що високоенергетичний пучок електронів – ефективний інструмент для роботи з тугоплавкими металами W, Mo, Ti, Co та карбідами на їх основі.

У вересні 2022 р. було введено в експлуатацію промислову лінію по виробництву твердосплавного інструменту за моделлю кругової економіки, в якому технології та обладнання створені українськими інженерами. В результаті цього, на сьогодні в компанії ПрАТ «ПлазмаТек» є можливість виробництва промислових партій твердосплавного інструменту. Промислова технологія повного циклу відновлення використаних і виробництва нових деталей на основі твердого сплаву WC-Co включає: унікальні проміжні технології відновлення і синтезу субмікронних і мікронних порошоків WC; прецизійне пресування і високошвидкісне електронно-променево спікання напівфабрикатів. Робота наукового центру побудована на переробці вживаної сировини, яка в подальшому проходить обробку для перетворення у вхідний порошок потрібних параметрів.

Дослідні партії деталей – волочильних фільтер та ножів для рубки дроту – пройшли промислові випробування в умовах серійного виробництва зварювальних матеріалів і продемонстрували високий рівень конкурентоспроможності з продуктами фірм – лідерів галузі. Сьогодні в постійному виробництві: фільтера волочильна, ніж рубочний, ролик металургійний, заготовка для виготовлення фрез та свердл.

