



Шульга С.В., Корж В.М., Попіль Ю.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

## СТАБІЛІЗАЦІЯ ГОРІННЯ ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО ПОЛУМ'Я ОТРИМАНОВОГО ПРИ СПАЛЕННІ СУМІШІ ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНО-ВОДЯНИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ПРИ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОМУ НАНЕСЕННІ ПОКРИТТЯ

### Анотація

*Приведено аналіз факторів які впливають на нестабільність роботи електролізно-водяних генераторів (ЕВГ) і теплофізичні характеристики факелу. Вказані причини та наслідки негативних факторів які впливають на стабільність горіння воднево-кисневого полум'я (ВКП) та засоби усунення, або зменшення їх впливу. Приведені результати досліджень ступеню нагрівання мундштука пальника в залежності від характеру течії струменю продуктів горіння воднево-кисневої суміші (ВКС) і температури реакторної частини ЕВГ на витрати пальної суміші та способи автоматичного підтримання стабільного процесу виробництва ВКС.*

### Abstract

*An analysis over of factors is brought which influence on instability of work of electrolysis-water generators (EWG) and thermophysical descriptions to the torch. Indicated reasons and consequences of negative factors which influence on stability of burning of hydrogen-oxygen flame (HOF) and facilities of removal, or diminishing to their influence. The brought results over of researches of influence of degree of heating of cannon-bit of gas-ring depending on a flow to the stream of foods of burning of hydrogen-oxygen mixture (HOM), dependence of temperature of reactor part of EWG are on the charges of air-gas and methods of automatic maintenance of stable process of production of HOM.*

### Вступ

Якість зварних і паяних з'єднань, напиленних поверхонь отриманих з використанням воднево-кисневого полум'я залежить від стабільності процесу горіння і роботи електролізно-водяних генераторів ЕВГ. Для забезпечення широкого застосування воднево-кисневої суміші в газотермічних процесах обробки матеріалів виникає необхідність забезпечення стабільної роботи і розробки ефективних методів керування ЕВГ, для автоматичного регулювання теплофізичних характерис-

тик полум'я при газотермічній обробці матеріалів (ГТОМ).

Широке застосування воднево-кисневої суміші стримується відсутністю інформації о технологічних можливостях, рекомендаціях по обслуговуванню, та засобах контролю параметрів. Метою роботи, був аналіз причин не стабільного горіння воднево-кисневого полум'я на протязі довготривалого часу роботи, оцінка реального ресурсу і причин виходу з ладу основних робочих вузлів ЕВГ. Дослідити вплив полум'я в залежності від характеру та складу продуктів горіння на нагрівання мундштука пальника, і зміну його геометричних розмірів, а також вплив температури реакторної частини електролізера на стабільність роботи ЕВГ та ресурс його роботи.

### Аналіз стану проблеми та постановка задачі

При незмінному складі пальної суміші зміна технологічних параметрів (витрати і тиску газової суміші, номер сопла пальника, то що) приводить до зміни геометричних розмірів полум'я і його будови, в свою чергу відбувається перерозподілення температури, напірного тиску і складу продуктів горіння по довжині факелу. Це впливає на якість виробів, що виробляються з застосуванням газотермічної обробки матеріалів і зокрема при газополуменевому нанесенні покриття. Так частинка матеріалу, що напилюється в цьому випадку може набутти меншої температури та кінетичної енергії в момент контакту з поверхнею на яку наноситься покриття, що приведе до зниження якості покриття. Максимальної швидкості порошкові матеріали досягають при використанні ламінарної течії струменю продуктів горіння, завдяки більшій довжині зони розгону частинки на робочій дистанції факелу в інтервалі ефективних температур [1]. При ламінарному характері течії продуктів, факел має найбільшу довжину, яка обмежується деякою критичною швидкістю. Саме від швидкості витоків і ефективної теплової потужності залежить теплообмін між факелом і мундштуком пальника. При газополуменевому способі напилення цей спосіб контролю може бути ефективним. Зміну температури сопла можна визначати термодатчиком або термопарою, які встановлюються на ньому і при

обробці сигналу регулювати струм електролізу, тим самим витратами воднево-кисневої суміші і стабілізувати геометрію факелу.

В газовому полум'ї інтенсивність тепловиділення і тепловідводу визначається структурою течії струменю продуктів горіння (дифузія реагентів, конвективний теплообмін) і кінетикою хімічних реакцій. Тим самим тепловий режим факела відбиває органічний зв'язок гідродинаміки течії струї і горіння. [2, 3] В залежності від режиму течії розрізняють ламінарні і турбулентні полум'я. Газодинамічний стан струменю продуктів горіння суміші визначається критерієм Рейнольдса [4].

$$Re = \frac{U_m \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

де  $\nu$  — кінематична густина газу або газової суміші,  $m^2/c$ ;

$d$  — діаметр перерізу вихідного каналу сопла пальника, м;

$U_m$  — середня швидкість газової струмини у вихідному каналі мундштука пальника, м/с.

За даними дослідників [5, 6] при  $Re < 2300$  потік газу ламінарний, а при  $Re > 3200$  — турбулентний. Особливості розвитку ламінарних і турбулентних факелів полум'я, пов'язано з залежністю довжини дифузійного факелу від числа Рейнольдса. При ламінарному характеру течії, довжина факелу прямо пропорційна значенню числа  $Re$ , а при турбулентному не залежить від нього. У перехідній області течії відбувається розпад ламінарного і утворення турбулентного полум'я.

Як видно з формули (1) число Рейнольдса залежить від діаметра перерізу вихідного каналу пальника і середньої швидкості витoku пальної суміші з сопла пальника [7].

$$U_m = 354 \cdot \frac{V_{ГС}}{d_c^2}, \quad (2)$$

де  $V_{ГС}$  — витрати газової суміші, яка приведена до нормальних умов (760 мм рт. ст. і  $20^\circ C$ ),  $m^3/год$ .

В процесі нагрівання виробу при газополуменевій обробці матеріалу, сопло пальника нагрівається факелом, конвективною теплопередачею та ультрафіолетовим випромінюванням від нагрітої поверхні, що веде до зміни вихідного діаметру отвору сопла. При не змінних витратах швидкість витoku пальної суміші при цьому змінюється, що може привести до зміни характеру течії струменю продуктів горіння.

Одним з основних факторів, що впливає на стабільне горіння полум'я, також є не стабільне вироблення воднево-кисневої, що утворює пульсації

факелу ВКП. На продуктивність вироблення пальної суміші в процесі електролізу впливає сила струму електролізу і температура електроліту, яка залежить від багатьох факторів.

Розширення впровадження процесів газотермічної обробки матеріалів з використанням воднево-кисневого полум'я, отриманого при спаленні суміші, що виробляється ЕВГ привело до випуску промисловістю від 0,01 до  $10 m^3/год$ . Не зважаючи на різноманітність конструкцій ЕВГ монополярного або біполярного типу [8, 9, 10, 11], основною проблемою є нестабільне вироблення пальної суміші на протязі довготривалого часу роботи.

Однією з причин не стабільності роботи ЕВГ є бульбашковий ефект який виникає в процесі електролізу. Завдяки йому, тиск і витрати в реакторі ЕВГ змінюються стрибкоподібно. Встановлення в газову схему ЕВГ напірних ємностей не завжди приводить до бажаного результату. Крім того при виході газової суміші з генератора можливе захоплення газом парів та крапель електроліту, які при попаданні в полум'я знижують температуру. Частково цей ефект компенсується поглинанням цих продуктів вологовідділювачами.

#### Методика дослідження

При проведенні дослідження по нагріванню мундштука пальника в залежності від складу і характеру течії продуктів горіння, використовувався пальник «ЕВРО-ДЖЕТ XS-7» з стандартним набором змінних мундштуків. З діаметром сопла  $\varnothing 1,6$  мм для першого номера мундштука, для другого —  $\varnothing 2,0$  мм, для третього  $\varnothing 2,2$  мм. Воднево-киснева суміш вироблялась електролізно-водяним генератором А1803, з максимальною продуктивністю по виробленню пальної суміші —  $1,6 dm^3/год$ . Дослідження проводились на трьох найбільш поширених при газотермічній обробці матеріалу з використанням ЕВГ газових сумішей: воднево-киснева суміш (ВКС), ВКС з добавками 5,5% парів бензину (ВКС + бензин), ВКС з добавками 16% парів етилового спирту (ВКС + спирт).

Газодинамічний стан струменю продуктів горіння воднево-кисневої суміші (ВКС) оцінювався показником числа Рейнольдса, яке визначає ламінарність або турбулентність струменю, що витікає на зрізі сопла пальника при різних витратах і складах газових сумішей та діаметрах мундштуків пальника.

Межа переходу від ламінарного до турбулентного характеру течії визначалась моментом початку скорочення факелу полум'я після досягнення ним максимальної довжини і початком збурення на кінці факелу, який враховує розмірність величин.

Для вимірювання температури використовувались хромель-копелеві термопари. Допустима похибка термопар складає 1% від вимірювальної ЕРС, а допустима похибка вимірювального приладу, мілівольтметра марки М-2020 розрахованого на виміри напруги до 100 мВ, складає 0,2%.

В вимірювальних приладах використовувалися компенсаційні дроти для врахування впливу температури вільних кінців, введення поправки виконувалось розрахунковим шляхом. Витрати газової суміші визначалися методом витіснення води з ємності відомого об'єму за формулою:

$$V_{ГС} = \frac{3600 \cdot V_{ВВ}}{t}, \quad (3)$$

де  $V_{ВВ}$  – об'єм води, що витіснився з ємності,  $дм^3$ ;

$t$  – час заповнення об'єму газовою сумішшю, с;

$V_{ГС}$  – витрати газової суміші,  $дм^3/год$ .

Зміна діаметрів сопла пальника фіксувалась профільованими конусами і мікрометром на початку і в кінці процесу.

Наконечники пальників для ГПОМ виготовляються з латуні, а мундштуки які кріпляться на них з сплавів 70% міді, для роботи на ацетиленокисневій суміші, так, як при взаємодії міді з ацетиленом утворюється сполука ацетиленистої міді, що підвищує вибухонебезпечність. Для мундштуків, які працюють на газах-замінниках ацетилену можна використовувати чисту мідь.

Результати досліджень температури нагрівання мундштука пальника з урахуванням характеру представлено на рис. 1.

В турбулентному режимі течії продуктів горіння, нагрівання сопла пальника не суттєве і не перевищує  $60-80^{\circ}C$ , як при спаленні чистої воднево-кисневої суміші, так і для сумішей ВКС з парами бензину або спирту. При цих температурах зміни діаметру вихідного каналу сопла знаходяться в межах  $0,04-0,11$  мм і цією зміною можна знехтувати.

При ламінарному характері горіння має місце збільшення температури сопла пальника при спаленні ВКС та суміші ВКС з парами спирту до температури  $120-140^{\circ}C$ , при додаванні до ВКС парів бензину має місце збільшення температури до  $160^{\circ}C$ .

В залежності від температури нагрівання сопла пальника і коефіцієнта термічного розширення міді (табл. 1) зміна діаметра для мідного мундштука пальника наведена у табл. 2.

Підвищення температури сопла пальника при ламінарному характері течії продуктів горіння веде до збільшення вихідного отвору, на  $0,10-0,47$  мм.

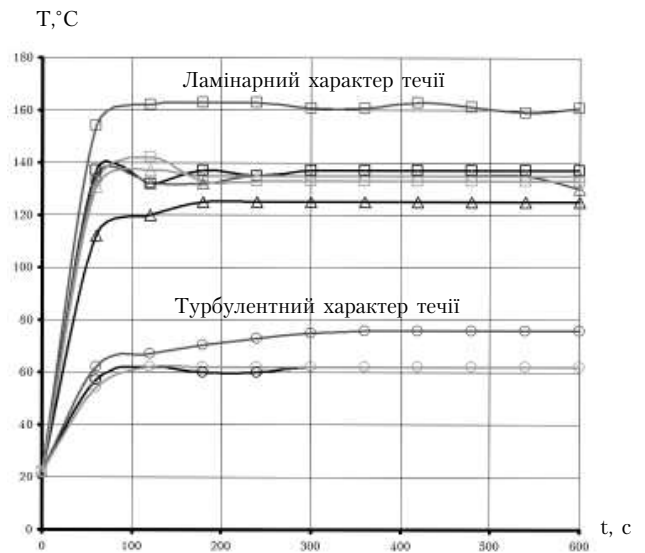


Рис. 1. Характер нагрівання сопла пальника в залежності від складу пальної суміші та характеру горіння

- ВКС, наконечник №1; ○ №2; □ №3; ▲
- ВКС + бензин, наконечник №1; ○ №2; □ №3; ▲
- ВКС + спирт, наконечник №1; ○ №2; □ №3; ▲

Таблиця 1

Коефіцієнт термічного розширення міді [12]

T, °C	20–100	20–200	20–300	20–400
$\alpha$ – коефіцієнт термічного розширення $10^{-6}$	16,82	17,25	17,59	18,20

Максимальне нагрівання сопла пальника відбувається при ламінарному характері течії продуктів горіння через 120 сек., а при турбулентному через 65 сек., і практично залишається постійним в процесі подальшого горіння полум'я.

Зміна вихідних діаметрів сопла пальника враховувалась при розрахунках швидкості витоку струменю пальної суміші на зрізі сопла пальника.

Аналіз впливу нагрівання сопла пальника показав, що температура нагрівання сопла пальника суттєва при ламінарному характері горіння і досягає максимального значення при використанні суміші з домішками парів бензину  $160^{\circ}C$ . Зміна вихідного отвору мундштука пальника за рахунок термічного розширення, в залежності від діаметра мундштука пальника збільшується від  $0,14$  до  $0,47$  мм, що веде до зменшення швидкості струменю продуктів горіння при незмінних витратах на  $7-29$  м/с, що приводить до зміни довжини факелу на  $5-30$  мм і це необхідно врахувати при подальших розрахунках в системі регулювання витрат.

Зміна розмірів вихідного отвору мундштука при нагріванні його при однакових постійних витратах приведе до зміни геометричних розмірів факелу полум'я, при ламінарному характері течії. З враху-

Таблиця 2

Зміна діаметрів сопла пальника від характеру горіння і складу пальної суміші

Пальна суміш та характер течії	№ сопла пальника	Діаметр отвору сопла, на початку процесу горіння, мм	Діаметр отвору сопла пальника, після нагрівання, мм	Різниця діаметрів, мм
ВКС ламінарний	№1	1,6	1,71	0,11
	№2	2,0	2,35	0,35
	№3	2,2	2,61	0,41
ВКС турбулентний	№1	1,6	1,64	0,04
	№2	2,0	2,05	0,05
	№3	2,2	2,26	0,06
ВКС + бензин ламінарний	№1	1,6	1,74	0,14
	№2	2,0	2,37	0,37
	№3	2,2	2,67	0,47
ВКС + бензин турбулентний	№1	1,6	1,68	0,08
	№2	2,0	2,1	0,10
	№3	2,2	2,31	0,11
ВКС + спирт ламінарний	№1	1,6	1,70	0,10
	№2	2,0	2,38	0,38
	№3	2,2	2,63	0,43
ВКС + спирт турбулентний	№1	1,6	1,64	0,04
	№2	2,0	2,05	0,05
	№3	2,2	2,26	0,06

ванням цього фактору процес нанесення покриття слід проводити після виходу нагріву сопла пальника на стабільний режим роботи через 2–2,5 хвилини після підпалювання та регулювання полум'я.

Основним вузлом, що впливає на стабільність і ресурс роботи генератора є електролізер, в якому відбувається процес електролітичного розкладання води. Збільшення температури електролізера прямо пропорційно кількості теплоти, яка виникає в процесі електролізу і в загальному вигляді описується законом Фарадея. Типовий розрахунок електролізерів за відсутності інтенсивної внутрішньої циркуляції електроліту зводиться до знаходження товщини і площі частини електроду, до знаходження товщини і площі частини електроду, який охолоджується. Щоб температура електроду не підіймалася вище за максимальну робочу температуру ( $t = 80^\circ\text{C}$ ) необхідно, щоб тепло, яке виділяється на одному електроді, було менше теплоти, яка виноситься з вічка газами, водяними парами, та теплоти розсіяною внутрішніми частинами електродів. Було встановлено [13], що при тривалій безперервній роботі, після нагрівання електролізера до  $70^\circ\text{C}$ , відбувається різкий стрибок продуктивності по газовій суміші і потім плавне зменшення виходу воднево-кисневої суміші. Це можна пояснити підвищенням температури в процесі електролізу і пов'язаним з цим зміною опору в ланцюзі електролізу. При проходженні постійного струму виникає різниця потенціалів під впливом поляризації. Це приводить до зміни концентрації елек-

троліту, хімічного складу активних речовин на поверхні електродів. Під час тривалої роботи змінюється щільність електроліту, що приводить до зміни щільності струму на ділянках електроду.

При щільності струму більше  $300\text{ mA/cm}^2$  на ділянках, де відбувається застій електроліту має місце інтенсивне руйнування електродної системи. Тут можливе виникнення імпульсної дуги. Було встановлено, що на швидкість руйнування електродів впливає нагрівання електролізера до температури більше  $70^\circ\text{C}$ .

При цьому спостерігається зміна струму електролізу [14].

$$I = \frac{U - (N - 1)U_p}{R_c}, \quad (4)$$

де  $U$  – напруга живлення,  $U = \text{const}$ ;  
 $N$  – число електродів,  $N = \text{const}$ ;  
 $U_p$  – напруга розкладання електроліту;  
 $R_c$  – опір електролізера.

$$R_c = \frac{(N - 1)h k x}{S}, \quad (5)$$

де  $h$  – відстань між електродами,  $h = \text{const}$ ;  
 $x$  – питомий електричний опір;  
 $S$  – площа реакторної ділянки електроду,  
 $S = \text{const}$ ;  
 $k$  – коефіцієнт зміни питомого опору при зміні температури електроліту газонаповнення вічок електролізера.

Додаткове охолодження ЕВГ значно підвищує тривалість експлуатації електродів. На процес електролітичного розкладання води впливає підготовка електроліту і матеріалу з якого виготовлений електрод. В якості електроліту рекомендується водні розчини лугів КОН і NaOH з концентрацією 20–30% і електродні матеріали з нержавіючої сталі або нікелю НП-2. Часто використовуються електроди з нікельованої низьковуглецевої сталі з товщиною покриття 100–250 мкм. Присутність в електроліті катіонів металу, що мають великий потенціал виділення в порівнянні з воднем приводить до осадження металів на катоді, що збільшує швидкість руйнування електродів. Помітні руйнування спостерігаються на ділянках електродів, що знаходяться під впливом рідко-газової фази, де утворюється значна щільність струму, місцем виникнення руйнування на електродах переважно є місце застою електроліту. Для зменшення руйнування електродів до складу електроліту рекомендується вводити 1–6% гідроокису карбонатів, нітриду, силікатів і міняти потенціали на електродах, в процесі роботи не рідше 1 разу за зміну. Стійкість електродної системи з одних і тих же матеріалів в електролізері монополярного типу вище. При використанні електродів з нержавіючої сталі можна збільшити термін служби електродів в 1,5–2 рази, за умови регулярного профілактичного обслуговування електролізерів. Було встановлено, що при використанні електроліту на основі КОН продуктивність по виробленню пальної суміші в 1,3 раза вище, ніж з електролітом на основі NaOH, але при цьому термін роботи електродних пластин зменшується приблизно на 10%.

Для усунення негативних факторів запропонована блок-схема модернізованого ЕВГ, з автоматичним підтриманням параметрів протягом довготривалої роботи.

Модернізація полягає в переключенні полярності на електродах реакторної частини ЕВГ між анодом та катодом. Для зниження пасивації катоду 1–2 рази за робочу зміну виконується переключення полярності на реакторі ЕВГ за допомогою РБ – релейного блоку, який проводить комутацію з ТБ – тиристорного блока. Для запобігання перегрівання реакторної частини ЕВГ при більше 70 °С вмикається додаткове охолодження (повітряне або рідинне в залежності від типу ЕВГ і конструкції). В нашому випадку додатковий вентилятор М. Контроль температури здійснюється термпарою Т або датчиком, сигнал з якого надходить на БПДУ – блок підсилення датчиків управління, де сигнал зворотного зв'язку підсилюється і порівнюється з сигналом управління з термодатчика Д, який встановлюється на мундштуку пальника. В БПДУ оброб-

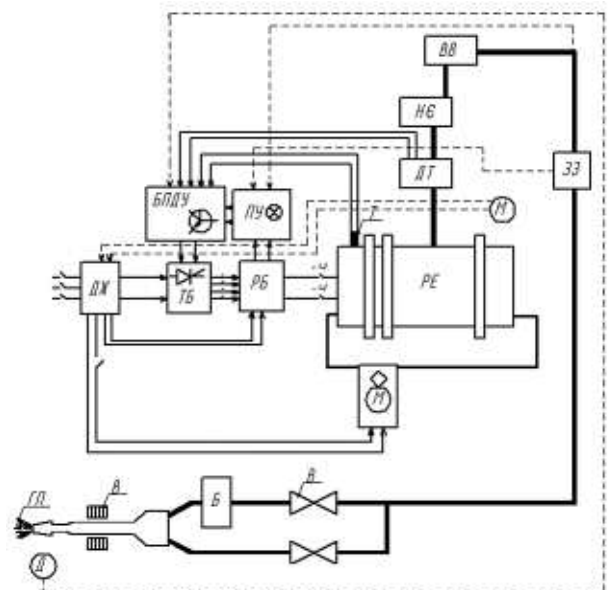


Рис. 2. Блок-схема для автоматичного регулювання параметрів роботи ЕВГ

ДЖ – джерело живлення; ТБ – тиристорний блок; РБ – релейний блок; БПДУ – блок підсилення датчиків управління; ПУ – пульт управління; РЕ – реактор електролізера; ДТ – датчик тиску; НЄ – напірна ємність; ВВ – вологовідділювач; ЗЗ – запобіжний затвор; Б – барботер; ДТ – датчик температури нагрівання мундштука; В – вентилі, ПП – газове полум'я

лений сигнал з відповідною амплітудою і частотою подається на керуючі електроди тиристорного блоку ТБ де керує струмом електролізу і відповідно продуктивністю по виробленню пальної суміші. Для збереження по всьому об'єму реактору електролізера однакової густини електроліту в гідравлічну схему вводиться гідропомпа М<sub>г</sub> для прокачування електроліту. Крім того, для запобігання підвищення тиску більше критичного, на реакторній частині встановлюється ДТ – датчик тиску, для керування діапазонами тиску, які для кожного виду ГПОМ різний. Датчик має три діапазони регулювання по тиску 0,2; 0,4; 0,6 МПа. При збільшенні тиску над критичного значення на пульті управління вмикається світова індикація і відключається струм на електролізері. Для боротьби з попаданням парів електроліту в газову суміш, в конструкції передбачено напірну ємність – НЄ та вологовідділювач – ВВ. В газовій схемі передбачено для захисту від зворотного удару запобіжний гідравлічний затвор – ЗЗ, наявність рідини в якому фіксується на пульті управління ПУ. Для регулювання складу пальної суміші призначені вентилі В, та барботер Б з рідинним, або балон і редуктор з газоподібними вуглецево-водневими сполуками.

## Висновки

1. Автоматичне підтримання геометрії воднево-кисневого факелу та режиму течії для газополуме-

невого способу нанесення покриття може здійснюватися за рахунок керування витратами воднево-кисневої суміші струмом електролізу, в залежності від температури нагрівання мундштука пальника і електролізера.

2. Температура нагрівання мундштука пальника, залежності від характеру течії струменю продуктів горіння в процесі роботи. При турбулентному характері течії струменю продуктів горіння мундштук пальника нагрівається до температури 60–80 °С, при ламінарному 120–160 °С, що веде до зменшення швидкості і збільшенню довжини факелу в розмірності яка залежить від номеру пальника і складу пальної суміші. Така температура достатня для отримання різниці сигналу з термодатчика для підтримання заданого стабільного режиму горіння полум'я.

3. Для виходу на режим початку автоматичного підтримання стабільної форми і розмірів факелу після підпалювання необхідно від 60 до 120 сек., в залежності від характеру течії полум'я.

4. Не стабільний режим вироблення ВКС в ЕВГ починається при підвищенні температури реакторної частини електролізера більше 70 °С, що при довготривалій роботі вимагає додаткового охолодження.

5. Запропонована блок-схема модернізації ЕВГ для газополуменевого нанесення покриття, дозволяє автоматично підтримувати параметри процесу вироблення пальної суміші, стабілізувати параметри факелу, збільшити ресурс роботи ЕВГ.

### Література

1. Корж В.Н., Потиль Ю.С. Условия получения газопламенного покрытия при использовании водородно-кислородного пламени // Автоматическая сварка. — 2005. — № 9. — С. 25–31.
2. Драйден Х.Л. Переход ламинарного течения в турбулентное // Турбулентные течения и теплопередача. — М.: Изд. иностр. лит., 1963. — С. 9–82.

3. Исследования процессов горения / Под общ. ред. Хитрина Л.Н. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 123 с.

4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. — М.: Физматгиз, 1976. — 888 с.

5. Вулис Л.А., Живов В.Г., Ярин Л.П. Переходная область течения в свободной струе // Инж.-физ. журн. — 1969. — № 2. — С. 239–247.

6. Альтицль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. — М.: Стройиздат, 1975. — 325 с.

7. Глизманенко Д.Л., Евсеев Г.Б. Газовая сварка и резка металлов. — М.: Машгиз, 1954. — 532 с.

8. Письменный А.С., Кислицын В.М. Перспективы развития газопламенной обработки материалов водородно-кислородными смесями // Автоматическая сварка. — 1995. — № 2. — С. 39–42.

9. Хромов В.Н., Семенов А.Л., Родичев А.Ю., Барабаш В.В., Вернов В.В., Абашов Н.Г. Состояние и перспективы развития электролизеров в России и за рубежом для получения водородно-кислородного пламени при газопламенной обработке материалов. Сварочные аппараты // Экономика и производство. — 2003. — № 3. — С. 15–18.

10. Балакин В.И. Применение электролизно-водных генераторов при пайке, резке и сварке // Автоматическая сварка. — 1986. — № 8. — С. 57–61.

11. Корж В.Н., Потиль Ю.С. Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. — К.: «Еко-технологія», 2010. — 194 с.

12. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1979. — 942 с.

13. Якименко Л.М. Определение величины токов утечки в биполярных электролизерах для получения водорода и кислорода и влияние их на удельный расход электроэнергии // Прикладная химия. — 1971. — № 6. — С. 4.

14. Потиль Ю.С., Корж В.Н. Стабильность и ресурс работы электролизных водородно-кислородных генераторов // Автоматическая сварка. — 1998. — № 5. — С. 64–66.