

**Швець О.П.**

к.т.н., доцент

**Коруняк П.С.**

к.т.н., доцент

**Березовецький С.А.**

к.т.н., доцент

**Львівський національний  
університет  
природокористування****Shvets O.**

Ph.D., Associate Professor

**Koruniak P.**

Ph.D., Associate Professor

**Berezovetskyi S.**

Ph.D., Associate Professor

**Lviv Nacional  
Environmental University****УДК 621.791****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-1-5**

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ В ПРОЦЕСАХ MIG/MAG ТА TIG ЗВАРЮВАННЯ**

*Механізми подачі електродного дроту зварювальних апаратів призначений для його транспортування від котушки в зону зварювання з постійною, наперед заданою швидкістю, або зі швидкістю, яка змінюється за заданим законом. Одним з перспективних напрямків удосконалення обладнання для дугового зварювання і наплавлення є керування перенесенням електродного металу завдяки імпульсному впливу на електродний дріт. Тому механізми подачі зварювальних апаратів мають забезпечувати дотримання умов безперервної подачі з постійною швидкістю або імпульсної з перервним характером руху.*

*Проблему формування імпульсів з необхідними параметрами можуть вирішити механізми подачі з вібраційним приводом. Основною перевагою такого технічного рішення є можливість отримання імпульсного руху з керованими параметрами частоти й амплітуди. Завдяки високій роздільній здатності переміщення і високим динамічним властивостям у перехідних режимах руху механізми подачі з вібраційним приводом здатні забезпечувати високу точність подачі пруткового матеріалу в робочу зону технологічного обладнання. Принцип роботи такого механізму базується на перетворенні просторових коливань у лінійні переміщення.*

*Отримані в роботі аналітичні залежності дозволяють визначати параметри переміщення електродного дроту вібраційним механізмом подачі. Запропоноване технічне рішення дозволяє забезпечувати різні переміщення дроту вздовж його осі, а зміна режиму пульсації стає можливою завдяки регулюванню частоти коливань приводу.*

**Ключові слова:** зварювання, електродний дріт, механізм подачі, вібраційний механізм, імпульсна подача.

**Постановка проблеми.** Механізм подачі зварювальних апаратів для механізованого та автоматизованого зварювання призначений для створення та передачі зусилля до електродного (присадкового) дроту, необхідного для його транспортування від котушки через гнучкий напрямлюючий канал до пальника. Крім того, механізми подачі повинні забезпечувати рух дроту з постійною, наперед заданою швидкістю, або зі швидкістю, яка змінюється за заданим законом на всьому проміжку часу виконання зварювання.

Умови експлуатації зварювальних напівавтоматів вимагають також надійної роботи механізмів подачі, їх ремонтпридатності в умовах неспеціалізованих підприємств, низьких масово-габаритних показників, універсальності щодо властивостей матеріалу та діаметра електродного дроту. Більшість механізмів подачі сучасних півавтоматів перетворюють обертовий рух приводного валу двигуна в поступальний рух електродного дроту із заданою швидкістю. Однак їх використання є складним для забезпечення імпульсного впливу на дріт. Тому розробка нових конструкцій



механізмів подачі електродного дроту є актуальним питанням удосконалення зварювального обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з перспективних напрямків удосконалення обладнання для дугового механізованого зварювання і наплавлення є забезпечення керування перенесенням електродного металу завдяки імпульсному впливу на електродний дріт [5], завдяки чому досягається поліпшення таких показників процесу, як формування зварного з'єднання, якість наплавленого металу, зменшення теплового впливу та економія матеріалів і енергетичних ресурсів.

Механізми подачі зварювальних апаратів мають забезпечувати дотримання двох основних умов подачі дроту, а саме безперервної подачі з постійною швидкістю або імпульсної з перервним характером руху. Для цього в зварювальних апаратах застосовують редукторні, планетарні та імпульсні типи механізмів подачі [7, 10].

В зварювальних півавтоматах і автоматах найбільшого поширення набули редукторні (роликові) механізми подачі дроту. Характерною особливістю таких механізмів є розташування подавальних і притискних роликів у одній площині. Найпростіший з механізмів такого типу має два

ролики (рис. 1,а), один з яких приводний 1, а інший притискний 2. Зварювальний дріт 3 затискається між ними за допомогою пружинного притискного механізму та приводиться до прямолінійного руху при обертанні приводного ролику.

Роликові механізми подачі оснащуються приводними двигунами та редукторами для зменшення частоти обертання роликів. Двигуни постійного струму дають змогу плавної зміни швидкості подачі дроту в широкому діапазоні і не вимагають застосування для цього складних та громіздких редукторів. Застосування трифазних асинхронних двигунів з постійною частотою обертання забезпечує вищу надійність роботи, однак в більшості випадків дозволяє реалізовувати ступінчасте регулювання швидкості подачі. Для плавної зміни частоти обертання роликів для них необхідно використовувати спеціальні електронні перетворювачі частоти струму. Система приводних і притискних роликів механізму подачі взаємодіючи з дротом повинна забезпечувати необхідне зусилля його транспортування без проковзування між роликками та мінімальним пошкодженням поверхні [4]. Величина зусилля подачі дроту залежить від конструкції роликів, шорсткості їх робочих поверхонь та властивостей матеріалу дроту.

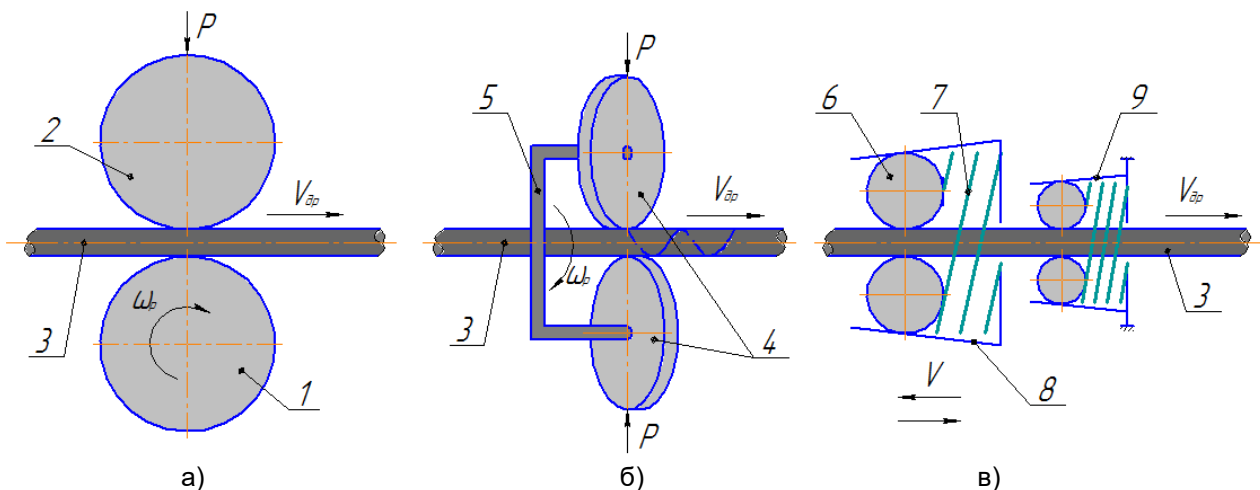


Рис. 1. Схеми механізмів подачі зварювальних апаратів

а – роликовий; б – планетарний; в – імпульсний 1 – подаючий ролик; 2 – притискний ролик; 3 – зварювальний дріт; 4 – пара роликів; 5 – подавальна головка; 6 – кульковий захват; 7 – пружина; 8 – рухомий корпус; 9 – зупиняючий захват

Планетарний механізм подачі складається з двох роликів 4, з'єднаних між собою спільною подавальною головкою 5, яка в процесі роботи обертається навколо дроту 3 (рис. 1,б). Осі кріплення роликів зорієнтовані один відносно одного під певним кутом і не паралельні осі дроту. Ролики притиснуті до дроту зусиллям  $P$  і під час обертання подавальної головки обкочуються по його

поверхні по гвинтовій лінії. Так як положення подавальної головки є фіксованим до напрямку осі дроту, то ролики забезпечують відносний поступальний рух дроту вздовж його осі. Такі механізми подачі у кілька разів знижують опір проштовхування електродного дроту, дозволяють плавно регулювати її швидкість і мають менші габаритні розміри. При їх проектуванні основну увагу слід звертати на



забезпечення оптимального зусилля притискання роликів до дроту.

Особливістю імпульсних механізмів подачі дроту є наявність спеціальних захватів, яким надається зворотно-поступальний рух відносно осі дроту 3 за допомогою спеціального механізму. Конструкція захвату має забезпечувати защемлення дроту і його рух разом із захватом 8 тільки в одному напрямку. В процесі зворотного руху захват вільно проковзує по нерухомому дроту. Для унеможливлення переміщення дроту в зворотному напрямку разом із захватом в конструкції імпульсного механізму подачі (рис. 1,в) передбачено зупиняючий захват 9.

В системах з механізмами імпульсної подачі електродного дроту поряд з простими конструкціями механічних рушіїв з односторонніми зачепленнями в зварювальному виробництві все більшого застосування набуває новий клас механізмів на основі перетворювачів частоти струму з робочими органами у вигляді традиційних пар подаючих і притискних роликів. Такі системи забезпечують можливість керування частотою, амплітудою і формою імпульсів подачі [1, 6]. При цьому одна частина параметрів подачі регулюється за рахунок зміни частоти обертання валу приводного електродвигуна, а інша - за рахунок механічних регулювання самого перетворювача, в тому числі з можливістю отримання реверсивного руху в імпульсі [8]. Перевагою такої системи є можливість застосування в якості робочих органів традиційних конструкцій роликів. Однак, через значні прискорення при обертальному русі роликів в імпульсній подачі для забезпечення надійного їх зчеплення з електродним дротом необхідно профілювати (калібрувати) канавку зчеплення роликів з дротом для забезпечення багаточогового контакту, а також застосовувати ролики зі спеціальних матеріалів, наприклад керамічних [2]. В таких конструкціях можна використовувати колекторні електродвигуни з регуляторами різних типів без необхідності встановлення додаткових редукторів. До числа недоліків таких систем можна віднести досить велику матеріаломісткість і відносну складність конструкції, а також недостатні можливості щодо формування параметрів імпульсу.

Проблему формування імпульсів з необхідними параметрами дозволяють вирішити комп'ютеризовані електроприводи на основі спеціальних високомоментних швидкодіючих вентильних електродвигунів. Такі

електродвигуни мають моментна валу, достатній для установки на ньому подаючих роликів без проміжного редуктора, що дозволяє в 1,5 ... 2,0 рази зменшити масогабаритні характеристики механізму подачі в цілому. Основною перевагою такого технічного рішення є отримання імпульсного руху з досить високими програмно задаваними і керованими параметрами частоти й амплітуди, а також можливості здійснення реверсивного руху [5].

#### **Постановка завдання досліджень.**

Метою та основним завданням роботи є розробка конструкції вібраційного механізму для імпульсної подачі електродного дроту або присадкового матеріалу в апаратах для механізованого та автоматичного зварювання та отримання математичних залежностей, які описують його роботу.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Вібраційні механізми живлення можуть бути використані в автоматизованому технологічному обладнанні (наприклад, зварювальних автоматах) де необхідно забезпечувати подачу електродного дротом чи пруткового присадкового матеріалу в зону зварювання. Завдяки їм можна не лише здійснювати подачу, але й регулювати довжину вильоте електрода і в автоматичному режимі компенсувати її похибки зміни довжини зварювальної дуги. Вібраційний привод характеризується високою роздільною здатністю переміщення і високими динамічними властивостями у перехідних режимах руху (пуск, зупинка, крокові режими), оскільки з моменту відключення живлення є безінерційним. Ця властивість його роботи дозволяє з високою точністю здійснювати подачу пруткового матеріалу в робочу зону технологічного обладнання. Принцип роботи такого пристрою аналогічний до принципу дії механізмів перетворення просторових коливань у лінійні переміщення. Амплітуди коливань вібродвигунів можуть коливатися від  $0,01 \cdot 10^{-3}$  мм (у тихохідних) до 0,1 мм (у швидкохідних варіантах конструкції).

Розроблений вібраційний механізм подачі електродного дроту (механізм подачі) складається з нерухомої основи 1 в якій встановлено статор 2 електричного вібраційного механізму. До статора за допомогою пружних елементів 3 кріпиться якір 4 масою  $m_1$  (рис. 2). До нього прикріплена цанга 5, яка контактує з електродним дротом 6 масою  $m_2$ , який може вільно переміщуватися відносно цанги у напрямку осі  $Ox$ . Початок системи координат виберемо у центрі мас якоря 4, коли він перебуває у положенні статичної рівноваги.

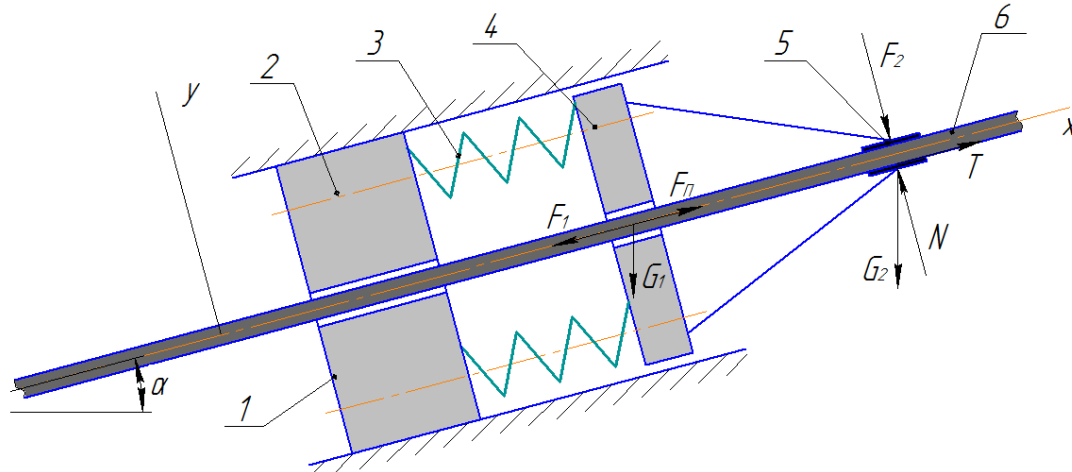


Рис. 2. Схема вібраційного механізму подачі і сил, які діють на механічну систему

На якор 4 діє сила ваги  $\vec{G} = m_1 \cdot \vec{g}$ , збуджувальна електромагнітна сила, яка змінюється за законом

$$F_1(t) = \begin{cases} A_1 \sin \omega t, & \sin \omega t \geq 0; \\ 0, & \sin \omega t < 0; \end{cases} \quad (1)$$

де  $\omega = 314$  рад/с – кругова частота збуджувальної сили;

$A_1$  – максимальне значення сили  $F_1$ , Н.

Сила пружності  $F_{\Pi}$  обчислюється за формулою:

$$F_{\Pi} = -c \cdot (x_1 - \lambda_{ст}), \quad (2)$$

де  $c$  – сумарна жорсткість паралельно з'єднаних пружних елементів;

$x_1$  – зміщення якоря 4 від положення статичної рівноваги;

$\lambda_{ст} = \frac{m_2 \cdot g \cdot \sin \alpha}{c}$  – статична деформація пружних елементів [3].

Силу тертя  $T$  в зоні защемлення дроту 6 цанговим захватом 5 можна визначають за формулою:

$$|T| = f \cdot |N| = f \cdot |m_2 \cdot g \cdot \cos \alpha + F_2|, \quad (3)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання дроту 6 по поверхні цангового захвату 5;

$F_2$  – додаткова змінна електромагнітна сила, яка забезпечує збільшення сили тертя у певні проміжки часу:

$$F_2(t) = \begin{cases} A_2 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right), & F_2(t) \geq 0; \\ 0, & F_2(t) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

де  $A_2$  – максимальне значення сили  $F_2$ , Н.

Результати математичного моделювання роботи запропонованого механізму свідчать, що найбільший ефект транспортування (максимальне переміщення дроту 6) буде в тому випадку, коли різниця фаз збуджувальної сили  $F_1$  становитиме  $\frac{\pi}{2}$  або  $-\left(\frac{\pi}{2}\right)$ .

Напрямок сили тертя  $T$  буде завжди протилежним до напрямку відносної швидкості переміщення дроту 6 відносно якоря 4, тобто залежатиме від швидкості  $\dot{x}_1$  якоря 4 і  $\dot{x}_2$  дроту 6.

Рівняння руху якоря і дроту можна записати у вигляді диференціальних рівнянь руху кожного з них:

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= -c \cdot x_1 - F_1(t) - f \cdot (m_2 \cdot g \cdot \cos \alpha + F_1(t)) \cdot \text{sign}(x_1 - x_2) \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} &= -m_2 \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot (m_2 \cdot g \cdot \cos \alpha + F_1(t)) \cdot \text{sign}(x_1 - x_2) \end{aligned} \quad (5)$$

Розв'язавши систему диференціальних рівнянь (5) числовим методом Рунге Кутта за заданих значень параметрів  $f$ ;  $m_1$ ;  $m_2$ ;  $\omega$ ;  $c$ ;  $A_1$ ;  $A_2$ ;  $\alpha$  і  $\beta$  було отримано графічні залежності параметрів переміщення електродного дроту 6 вібраційним механізмом подачі запропонованої конструкції (рис. 3).

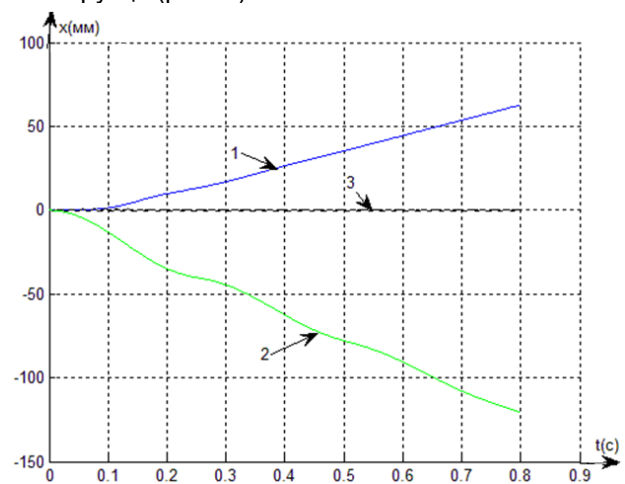


Рис. 3. Графічні залежності переміщення електродного дроту

( $f = 0,1$ ;  $m_1 = 2$  кг;  $m_2 = 1$  кг;  $\omega = 314$  рад/с;  $c = 1,2 \cdot m_1 \omega^2$  Н/м;

$A_1 = 40$  Н;  $A_2 = 120$  Н;  $\alpha = \frac{\pi}{15}$ ;  $\beta = \pm \frac{\pi}{2}$ ):

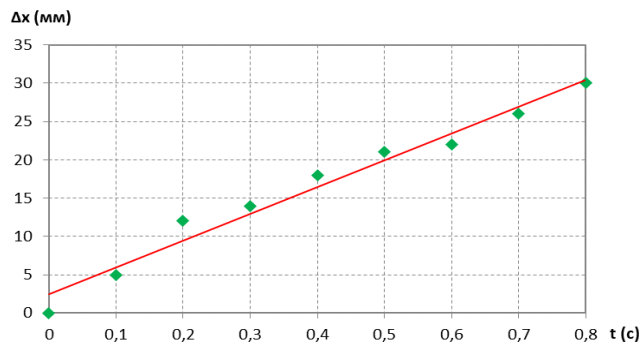
1 – переміщення дроту у додатному напрямку осі  $Ox$  при зсуві фаз  $\beta = \frac{\pi}{2}$ ;

2 – переміщення дроту у зворотному напрямку при зсуві фаз  $\beta = -\frac{\pi}{2}$ ;

3 – переміщення (вібрування) якоря 4



Аналізуючи рис. 3 бачимо, що запропонований вібраційний механізм для імпульсної подачі електродного дроту дозволяє забезпечувати різні переміщення дроту вздовж його осі. Різниця координат переміщення  $\Delta x$  представлена на рис. 4.



**Рис. 4.** Різниця координат переміщення дроту

Визначальними параметрами, які характеризуватимуть подачу дроту будуть його маса  $m_2$ , збуджувальна електромагнітна сила  $F_1$  та її кругова частота  $\omega$ ; жорсткість пружин  $c$  та коефіцієнт тертя ковзання поверхні цангового захвату по поверхні транспортованого матеріалу  $f$ . Змінюючи значення  $F_1$  і  $\omega$  можна досягти пульсуючої подачі, необхідної для заданого режиму зварювання.

**Висновок.** Одним із способів забезпечення імпульсної подачі електродного дроту в процесах електродугового зварювання з можливістю керування процесом перенесення електродного металу є застосування в конструкціях механізмів подачі вібраційних механізмів. В них досягнення необхідного режиму пульсації можливе завдяки регулюванню частоти збуджувальної сили. Вібраційні механізми подачі в порівнянні з роликowymi споживають менше електроенергії, не потребують використання обертових деталей та є більш компактними. Їх доцільно використовувати в апаратах імпульсного зварювання, для забезпечення режимів холодного перенесення металу (CMT – cold metal transfer), а також подачі присадкового матеріалу під час TIG зварювання.

#### Список використаних джерел

1. Жук Г. Універсальна система управління подачі електродного дроту для механізованого обладнання електродугового зварювання і наплавлення. Вісник ТНТУ. Тернопіль: ТНТУ, 2019. Том 94, № 2. С. 89–95.
2. Квасницький В.В. Спеціальні способи зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003.437 с.

3. Коруняк П.С., Керницький І.С. Вібраційні машини у виробничих процесах і технологіях: навчальний посібник. Львів: Сполум, 2019. 436 с.

4. Крахмальов О.В. Механізми подачі електродного та присадкового дроту. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Харків: НТУ «ХПІ». с. 85.

5. Лебедев В. Использование управляемых параметров подачи электродной проволоки и колебаний ванны как динамических систем для совершенствования дуговых процессов сварки и наплавки. Технические науки та технології. 2020. № 3 (21). С. 21-36.

6. Лебедев В. О., Халімовський О. М. Пошук можливостей підвищення швидкодії електропривода механізму подачі механізованого устаткування для дугового зварювання-наплавлення. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика», № 9 (1334) 2019. С. 52-56.

7. Механізми подачі електродного дроту, та їх класифікація. <http://moodle.ipo.kpi.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=34299>

8. Патон Б., Лебедев В., Жук Г., Пичак В. Изучение особенностей воздействия импульсной подачи электродной проволоки на результаты механизированной электродуговой сварки – наплавки. Технические науки та технології. 2020. № 3 (21). С. 9-20.

9. Повидайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2004. 248 с.

10. Volodymyr Lebedjev; Oleksiy Khalimovskyy. Electric drive in the equipment for mechanized and automatic arcwelding. Вісник ТНТУ, № 1 (93), 2019. С. 81-91.

#### References

1. Zhuk H. (2019). Universalna systema upravlinnia podachi elektrodnoho drothu dlia mekhanizovanoho obladnannia elektroduhovoho zvariuvannia i naplavlennia. *Visnyk THTU*, 94, 89–95.
2. Kvasnytskyj V. V. (2003). Spetsial'ni sposoby zvariuvannia. *Navchalnyj posibnyk*. Mykolaiv: UDMTU.
3. Koruniak P.S, Kernytskyj I.S. (2019). Vibraciini mashyny u vyrobnychyh procesah i tehnologiyah. *Navchalnyj posibnyk*. Lviv: Spolom.
4. Krakmalov O.V. (2018). Mekhanizmy podachi elektrodnoho ta prysadkovoho drothu. *Informatsijni tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorov'ia: tezydopovidej XXVI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2018*. 85.
5. Lebedev V. (2020). Ispolzovanie upravljaemyh parametrov podachi elektrodnoj



provoloiki i kolebanij vanny kak dinamicheskikh sistem dlja sovershenstvovanija dugovyh processov svarki i naplavki. *Tekhnichni nauki ta tehnologii*, 21, 21-36.

6. Lebedev V. O., Khalimovskij O. M. (2019). Poshuk mozhlivostej pidvyschennia shvydkodii elektroprivoda mekhanizmu podachi mekhanizovanoho ustatkuvannia dlja duhovoho zvariuvannia-naplavlennia. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya «Problemy avtomatyzovanoho elektroprivodu. Teoriia i praktyka», 9, 52-56.

7. Mekhanizmy podachi elektrodnoho drotu ta ikh klasyfikatsiia. <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=34299>

8. Paton B., Lebedev V., Zhuk H., Pychak V. (2020). Yzuchenye osobennostej vozdeystviya ympul'snoy podachy elektrodnoj provoloky na rezultaty mekhanizirovannoj elektroduhovoј svarki – naplavky. *Tekhnichni nauky ta tehnologii*, 3, 9-20.

9. Povydaylo V.O. (2004). Vibratsiini protsesy ta obladnannia. Lviv: NU "Lvivska politekhnika".

10. Lebedev V., Khalimovskyy O. (2019). Electric drive sin the equipment for mechanized and automatic arc welding. *Visnyk TNTU*, 1(93), 81-91.

#### **ELECTRODE WIRE FEEDER FOR MIG/MAG AND TIG WELDING PROCESSES**

*The electrode wire feeding mechanisms of welding machines are designed to transport the electrode wire from the spool to the welding zone at a constant, predetermined speed or at a speed that*

*varies according to a given law. One of the most promising areas for improving arc welding and surfacing equipment is to control the transfer of electrode metal by pulsing the electrode wire. Therefore, the feeding mechanisms of welding machines must ensure compliance with the conditions of continuous feeding at a constant speed or pulsed feeding with an intermittent movement.*

*The problem of forming pulses with the required parameters can be solved by feeding mechanisms with a vibration drive. The main advantage of such a technical solution is the ability to produce pulsed motion with controllable frequency and amplitude parameters. Due to the high resolution of movement and high dynamic properties in transient motion modes, vibration-driven feeding mechanisms are able to provide high accuracy of bar material feeding into the working area of technological equipment. The principle of operation of such a mechanism is based on the transformation of spatial vibrations into linear displacements.*

*The analytical dependencies obtained in this work allow us to determine the parameters of electrode wire movement by the vibratory feeding mechanism. The proposed technical solution makes it possible to provide different movements of the wire along its axis, and changing the pulsation mode is made possible by adjusting the oscillation frequency of the drive.*

**Keywords.** *welding, electrodedewire, feeding mechanism, vibration mechanism, pulse feeding.*

#### **Відомості про авторів**

**Швець Олексій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування Львівського національного університету природокористування (вул. В. Великого 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл. Україна, 80381, e-mail: [shvets2882@gmail.com](mailto:shvets2882@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8988-9410>).

**Коруняк Петро Степанович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування Львівського національного університету природокористування (вул. В. Великого 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл. Україна, 80381, e-mail: [petrokoruniak@gmail.com](mailto:petrokoruniak@gmail.com)).

**Березовецький Сергій Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування Львівського національного університету природокористування (вул. В. Великого 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл. Україна, 80381, e-mail: [siko@email.ua](mailto:siko@email.ua)).

**Shvets Oleksii** – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering of the Lviv National Environmental University (1 V. Velykoho Street, Dublyany, Lviv District, Lviv Region, Ukraine, 80381, e-mail: [shvets2882@gmail.com](mailto:shvets2882@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8988-9410>).

**Koruniak Petro** - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering of the Lviv National Environmental University (1 V. Velykoho Street, Dublyany, Lviv District, Lviv Region, Ukraine, 80381, e-mail: [petrokoruniak@gmail.com](mailto:petrokoruniak@gmail.com)).

**Berezovetskyi Serhiy** – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering of the Lviv National Environmental University (1 V. Velykoho Street, Dublyany, Lviv District, Lviv Region, Ukraine, 80381, e-mail: [siko@email.ua](mailto:siko@email.ua)).