

УДК 621.791:622.691.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184382

ВПЛИВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ РЕМОНТІ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ НА БЕЗПЕКУ ЗВАРЮВАЛЬНИКА

Василів Н. Ю., Семчук Я. М.

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ СВАРЩИКА

Васылив Н. Ю., Семчук Я. М.

INFLUENCE OF WELDING PROCESSES FOR UNDERGROUND PIPELINE REPAIR ON WELDER SAFETY

Vasyliv N., Semchuk Ya.

Об'єктом дослідження є безпека зварювальника при ремонті і будівництві підземних трубопроводів. Встановлено, що ручне електрозварювання характеризується значним впливом на організм людини, оскільки відстань від місця зварювання до зварника складає 20–30 см, температура в стовпі зварювальної дуги досягає 6500 К. Це сприяє виділенню у навколишній простір значної кількості металевої пари і дрібнодисперсного пилу (зварювального аерозолю та токсичних газів). Проведені теоретичні і експериментальні дослідження початкової ділянки зварювального факелу (на висоті 0,4–0,5 м) при ручній, напівавтоматичній зварці в середовищі захисних газів і зварці під шаром флюсу.

Запропоновані залежності для визначення осьових температур та швидкостей. Обґрунтовано, що поширення аерозолів при зварюванні трубопроводів в траншеї визначається фізичними процесами поширення зварювального факелу. Досліджено гігієнічні характеристики електродів типу АНО при зварювальних процесах. Встановлено, що валова кількість аерозолю в процесі зварювання електродами АНО-4 з фтористокальцієвим покриттям досягає 31 г/кг та токсичних речовин в аерозолі до 9 г/кг. Кількість газів перед щитом зварювальника у процесі зварювання електродами АНО-8 досягає 20 мг/м³.

Одержані емпіричні рівняння для визначення концентрації аерозолей та концентрації газоподібних шкідливих речовин. Крім цього, одержано рівняння для визначення індексу забруднення робочих місць зварювальників, що дало можливість прогнозувати окремі параметри умов праці.

Механізм поширення аерозолів у траншеї вимагає спеціального розгляду, що можна здійснювати методом математичного моделювання, оскільки тут відіграють роль такі фізико-хімічні процеси, як повздовжня та поперечна дисперсія, молекулярна дифузія.

Виконано аналіз емпіричних формул, які можна рекомендувати для визначення параметрів у початковій ділянці зварювального факела при стиковій зварці трубопроводу в траншеї.

Ключові слова: безпека зварювальника, зварювальний факел, магістральні газопроводи, конвективне тепло, концентрація аерозолі.

Объектом исследования является безопасность сварщика при ремонте и строительстве подземных трубопроводов. Установлено, что ручная электросварка характеризуется значительным влиянием на организм человека, так как расстояние от места сварки до сварщика составляет 20–30 см, температура в столбе сварочной дуги достигает 6500 К. Это способствует выделению в окружающее пространство значительного количества металлической пары и мелкодисперсной пыли (сварочного аэрозоля и токсичных газов). Проведены теоретические и экспериментальные исследования начального участка сварочного факела (на высоте 0,4–0,5 м) при ручной, полуавтоматической сварке в среде защитных газов и сварке под слоем флюса.

Предложены зависимости для определения осевых температур и скоростей. Обосновано, что распространение аэрозолей при сварке трубопроводов в траншее определяется физическими процессами распространения сварочного факела. Исследованы гигиенические характеристики электродов типа АНО при сварочных процессах. Установлено, что валовое количество аэрозоля в процессе сварки электродами АНО-4 с фтористокальциевым покрытием достигает 31 г/кг и токсичных веществ в аэрозоли до 9 г/кг. Количество газов перед щитом сварщика в процессе сварки электродами АНО-8 достигает 20 мг /м³.

Полученные эмпирические уравнения для определения концентрации аэрозолей и концентрации газообразных вредных веществ. Кроме этого, получены уравнения для определения индекса загрязнения рабочих мест сварщиков, что позволило прогнозировать отдельные параметры условий труда.

Механизм распространения аэрозолей в траншее требует специального рассмотрения, что можно осуществлять методом математического моделирования, поскольку здесь играют роль такие физико-химические процессы, как продольная и поперечная дисперсия, молекулярная диффузия.

Выполнен анализ эмпирических формул, которые можно рекомендовать для определения параметров в начальном участке сварочного факела при стыковой сварке трубопровода в траншее.

Ключевые слова: безопасность сварщика, сварочный факел, магістральні газопроводи, конвективне тепло, концентрація аерозолі.

1. Вступ

Основний технологічний процес, при якому виділяється найбільша кількість шкідливих виділень (оксиду азоту, оксиду вуглецю, оксиду марганцю, фтористих з'єднань, озону, пилу і супутня їм теплота), – це зварювання.

Гігієнічні дослідження зварювальних процесів включають експериментальні і виробничі дослідження. Експеримент дає загальні дані про

кількісний і якісний склад пилу і газів, електромагнітного випромінювання, рівня звукового тиску тощо. Виробничі дослідження виявляють динаміку цих шкідливих чинників протягом дня, тижня, пори року.

Зварювання підземних трубопроводів при їх ремонті проводиться у напіввідкритому просторі, а оскільки відстань від місця зварювання до зварника складає всього 20–30 см, то виникає потреба у дослідженні впливу зварювальних процесів при ремонті підземних трубопроводів на безпеку зварювальника.

Предметом дослідження є підвищення рівня гігієни і безпечності праці при проведенні електрозварювальних робіт під час ремонту підземних трубопроводів.

Теоретичною і методологічною базою досліджень є наукові праці [1–3] у напрямку ефективності управлінських рішень з охорони праці у зварювальному виробництві.

Основними завданнями роботи є оцінка санітарно-гігієнічних умов праці, а також дослідження виділення та поширення аерозолів у процесі зварювання.

У зв'язку з цим, *актуальним* є проведення досліджень зі зниження ризику професійних захворювань працюючих шляхом підвищення ефективності зварювального виробництва.

Таким чином, *об'єктом дослідження* є безпека зварювальника при ремонті і будівництві підземних трубопроводів.

Метою роботи є дослідження впливу шкідливих речовин на організм людини під час зварювання у напіввідкритому просторі (підземні трубопроводи).

2. Методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження проводились у виробничих умовах. Зварювальні роботи мали місце при ремонті заглиблених магістральних газопроводів і проводились в траншеях. У даному випадку, зварювальні процеси відбуваються при швидкій зміні температури металу, що підлягають зварюванню або розрізанню. У широкому діапазоні температур відбуваються різноманітні фізичні і хімічні процеси. Всі застосовані джерела нагрівання відрізняються великою тепловою потужністю, що сприяє утворенню зварювального факелу (або ріжучого струменя).

Для прикладу, при електродуговому зварюванні, температура в стовпі зварювальної дуги досягає 6500 К, а в ділянках електродів, через які проходить зварювальний струм, вона близька до точки кипіння металу і досягає 2500–2600 К. Це сприяє виділенню в навколишній простір значної кількості металевої пари, яка конденсується, утворюючи при цьому дрібнодисперсний пил (зварювальний аерозоль). Виділяється також і ряд токсичних газів [1, 2].

Дослідженням закономірностей зварювального факелу також присвячені роботи [4, 5]. Механізм поширення аерозолів у траншеї вимагає спеціального розгляду, який можна здійснювати методом математичного моделювання, оскільки тут відіграють роль такі фізико-хімічні процеси, як повздовжня та поперечна дисперсія, молекулярна дифузія.

3. Результати досліджень та обговорення

Горіння зварювальної дуги супроводжується розбризуванням крапель металу і шлаку із зварювальної ванни, що носить характер мікровибухів.

Конвективне тепло, яке віддається дугою і нагрітою деталлю навколишньому повітрю, зумовлює виникнення забрудненого струменя, що піднімається вгору – зварювального факелу (рис. 1). Як і будь-який інший конвективний потік, зварювальний факел складається з розгінної (початкової) і основної ділянок.

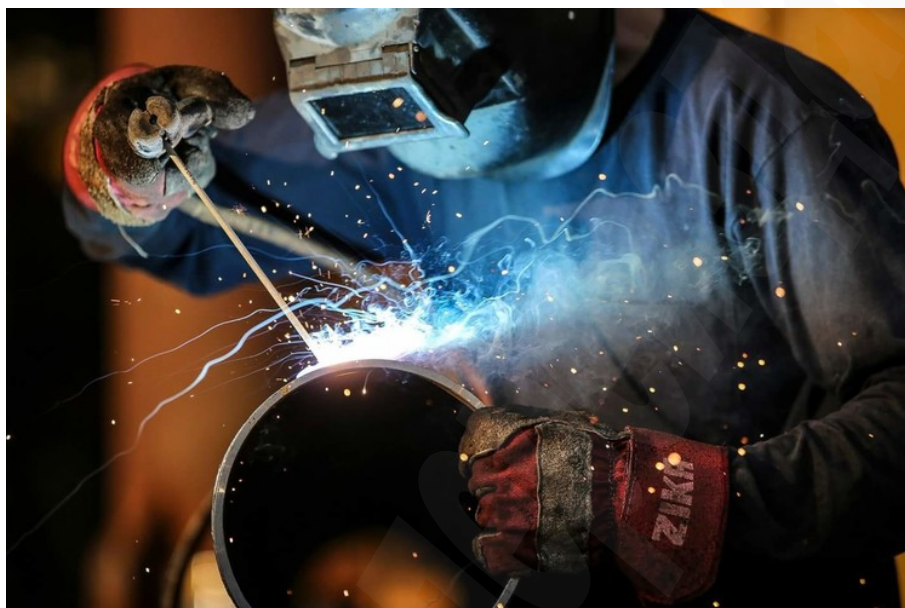


Рис. 1. Зварювальний факел при ручному електрозварюванні електродами УОНИ-13

У розгінній ділянці заввишки 0,3–0,4 м повітря, що підтікає до дуги, нагрівається і піднімається вгору, швидкість його значно збільшується. Також, добре видно, що розгінна ділянка зварювального факелу має менший діаметр, чим основний, відбувається підтискання конвективного потоку повітрям, що підтікає з боків.

Основна ділянка зварювального факелу характеризується зменшенням осьових швидкостей і температур у міру підйому факела вгору і перемішування його з навколишнім повітрям. Експериментальні залежності v_m і Δt_m при ручній зварці електродами діаметром 3 і 5 мм показано на рис. 2.

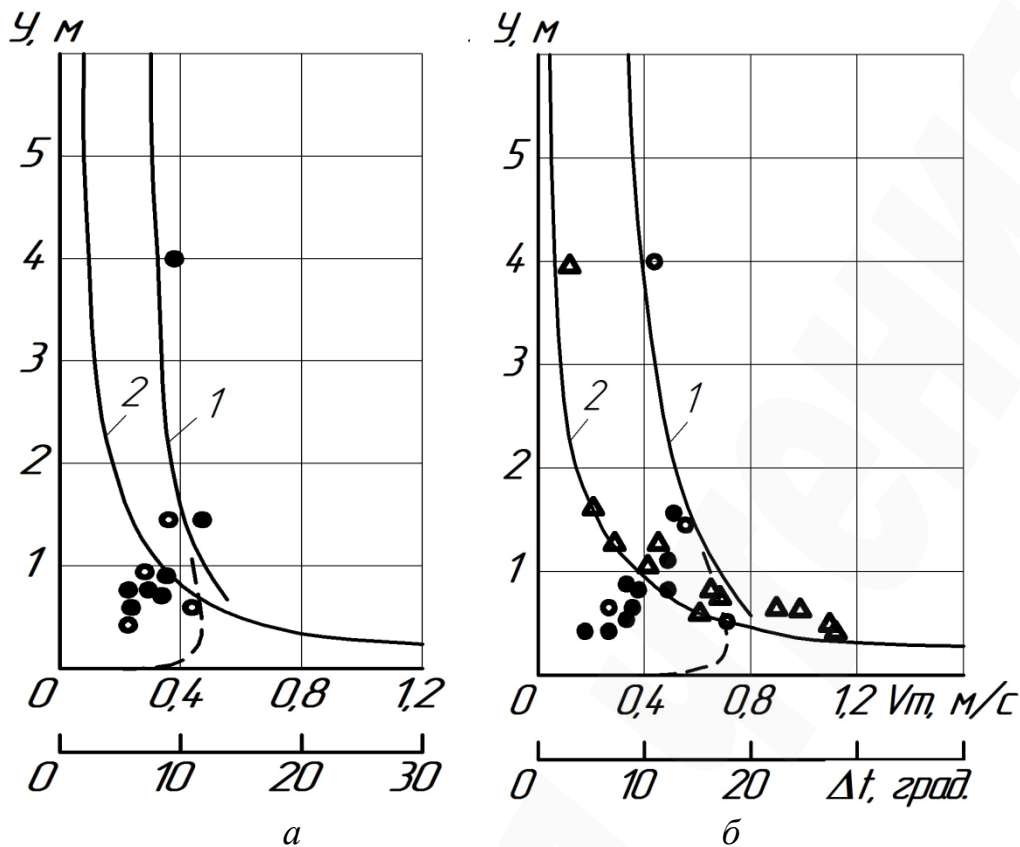


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень надмірних температур і швидкостей повітря на осі вільного зварювального факела:
 а – параметри при зварці електродами ОММ-5 ($d=3$ мм, $I_{CB}=120$ А);
 б – параметри при зварці електродами УОНІ-13 ($d=5$ мм, $I_{CB}=250$ А); 1 – осьова швидкість; 2 – надлишкова температура

Обробка отриманих даних з урахуванням закономірностей теплових струменів і величини конвективного тепла Q_K дозволила автору роботи [4, 5] зробити висновок, що осьова швидкість (u м/с) і надлишкова температура Δt_m (u °С) в основній ділянці зварювального факела досить добре описуються теоретичними залежностями:

$$v_m = 0,136 \cdot Q_K^{1/3} \cdot \gamma^{-5/3}, \quad (1)$$

$$\Delta t_m = 0,5 \cdot Q_K^{1/3} \cdot \gamma^{-1/3}, \quad (2)$$

де γ – відстань по вертикальній осі до даної точки факела, м.

Розподіл осьових відносних концентрацій і надлишкових температур у факелі підлягає одній залежності. Дослідження також підтвердили, що при збільшенні потужності дуги абсолютні значення параметрів зварювального факела зростають. По вказаним залежностям можна обчислювати значення осьових швидкостей у зварювальному факелі і значення осьових надлишкових температур на висоті $\gamma=0,4$ м від поверхні деталей і більше.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень початкової ділянки зварювального факела (на висоті 0,4–0,5 м) при ручній, напівавтоматичній і автоматичній зварці в середовищі захисних газів і зварці під шаром флюсу запропоновані наступні залежності для визначення максимальних осьових температур і швидкостей [4]:

– при ручній і напівавтоматичній зварці, К:

$$\Delta t_m = k_p \cdot I_D^{0,222} \cdot \gamma^{-0,8}; \quad (3)$$

– при автоматичній зварці, К:

$$\Delta t_m = k_a \cdot (\lg I_D)^{0,071} \cdot \gamma^{-0,8}, \quad (4)$$

де γ – висота від поверхні зварюваної деталі до даної точки, м; I_D – сила зварювального струму, А, при зварці під шаром флюсу $k_p=6,5$ і $k_a=28$.

$$v_m = \sqrt{g \cdot \gamma \cdot \frac{\Delta t_m}{T_\infty}}, \quad (5)$$

де T_∞ – температура навколишнього середовища, яку можна прийняти рівною 293 К.

Після підстановки цифрових значень Δt_m з формули (3), формула для визначення осьової швидкості (у м/с) в початковій ділянці зварювального факела (при ручній зварці), запропонована в [6, 7], матиме вигляд:

$$v_m = 8 \cdot \sqrt{\frac{I_D^{0,222} \cdot \gamma^{0,2}}{T_\infty}}. \quad (6)$$

Наприклад, при зварці електродами $d=5$ мм та струмом силою 250 А швидкість повітря визначається таким чином: задавшись відміткою точки зварювального факела, що нас цікавить, наприклад, $\gamma=0,4$ м, при температурі навколишнього середовища 20 °С отримаємо:

$$v_m = 8 \cdot \sqrt{\frac{250^{0,222} \cdot 0,4^{0,2}}{273 + 20}} = 0,78 \text{ м/с.}$$

На рис. 3 приведені дані експериментальних досліджень осьових швидкостей повітря в зварювальному факелі при зварці в CO_2 струмами силою 200, 1200 і 3000 А [6]. Заміри швидкостей повітря були виконані спеціальним термо-електронеметром, датчик якого мав тонку платинову нитку, не чутливу до потоку променистого тепла. Експериментальними точками є результати усереднювання багатократних вимірювань максимальних

швидкостей на кожному режимі. Як видно з графіків рис. 3, початкова (розгінна) ділянка в зварювальному факелі має висоту 0,4–0,5 м, максимальні швидкості повітря відмічені на висоті зразка 0,3 м від поверхні зварюваних деталей, тобто там, де знаходиться звужений перетин факела.

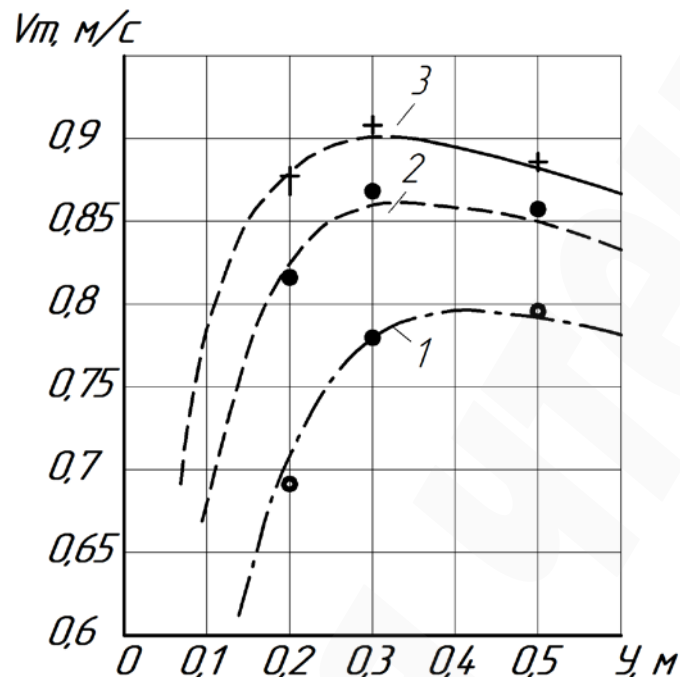


Рис. 3. Швидкості повітря в зварювальному факелі при силі струму:
1 – 200 А; 2 – 1200 А; 3 – 3000 А

Найважливішою характеристикою зварювального факела є величина конвективного тепла Q_K , що визначає основні параметри конвективного потоку. Різні дослідники в своїх роботах [7–9] рекомендують приймати значення Q_K , які істотно відрізняються один від одного. Встановлено, що для швидко рухомих зварювальних дуг при зварці плавким електродом діаметром 3 мм $Q_K=8-9\%$, а для товстих електродів $Q_K=10-11\%$ повної теплової потужності дуги $Q_{екв}$. При зварці в середовищі CO_2 кількість конвективного тепла в зварювальному факелі збільшується і складає 12–14% $Q_{екв}$. Значна частина тепла поступає в зварювальний факел не тільки від поверхні деталей, але і безпосередньо від самої зварювальної дуги, причому, із підвищенням її потужності збільшується величина Q_K .

У дуговому проміжку відбувається інтенсивне відведення тепла від зварювальної дуги вимушеною конвекцією унаслідок дії катодного струменя, рухомого від електроду до деталі з швидкістю близько 100 м/с. Деяка частина тепла поступає в зварювальний факел унаслідок конденсації пари металу. Дуже важливим фактором є також дисоціація в зоні зварки частини CO_2 на C та O_2 і подальша молізація, що відбувається в зварювальному факелі з виділенням тепла.

Всі вказані процеси з підвищенням витраченої потужності і збільшенням температури в стовпі зварювальної дуги інтенсифікуються, при цьому збільшується кількість наданого факелу конвективного тепла [10–12].

Ряд емпіричних залежностей, пропонованих деякими дослідниками, заслуговують уваги. Дослідження [8] дозволили отримати наступні емпіричні формули, які можна рекомендувати для визначення параметрів в початковій ділянці зварювального факела при стиковій зварці:

– для швидкості руху конвективного потоку, м/с:

$$v_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{\gamma}}, \quad (7)$$

де N – потужність, що витрачається при зварці, кВА;

γ – відстань від точки зварки по осі висхідного потоку, м;

– для об'єму переміщуваного струменем повітря, м³/с:

$$L_c = 0,012 \cdot \sqrt[3]{N \cdot \gamma^5}; \quad (8)$$

– для надлишкової температури на осі потоку, К:

$$\Delta t_m = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{N^2}{\gamma^5}}. \quad (9)$$

У залежностях (8) та (9), отриманих автором роботи [6], з урахуванням відомих закономірностей компактних конвективних потоків, замість Q_K введена величина потужності N , що витрачається при зварці. Проведені обчислення параметрів факела при значеннях від 0,1 до 0,5 м. Наприклад, при потужності 10 кВА осьова швидкість повітря на висоті 0,5 м складає 0,68 м/с. Отримана величина достатньо близька до значень v_m , хоча технологічний процес істотно відрізняється від зварки плавким електродом.

Таким чином, в роботі обґрунтовано, що поширення аерозолів при зварюванні трубопроводів в траншеї, в основному, визначається фізичними процесами поширення зварювального факела. Виходячи цього, проведено моделювання характеру зміни концентрації зварювальних аерозолів в траншеї з трубопроводом.

4. Висновки

В ході дослідження показано, що поширення аерозолів при зварюванні підземних трубопроводів в траншеї, в основному, визначається фізичними процесами поширення зварювального факела. У результаті комплексних досліджень було отримано емпіричні залежності для визначення концентрації газоподібних шкідливих речовин та для визначення індексу забруднення робочих місць зварювальників, що дасть можливість прогнозувати окремі параметри умов праці зварників.

Дані результати дослідження стануть у нагоді для впровадження їх на виробництві для розробки програмного забезпечення автоматичним керуванням процесу зварювання для мінімізації шкідливого впливу на зварника.

Література

1. Hinds, W. C. (1999). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. A Wiley-Interscience publication, 464.
2. Vincent, J. H. (2007). *Aerosol sampling: science, standards, instrumentation and applications*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, 616. doi: <http://doi.org/10.1002/9780470060230>
3. Mandryk, O. M., Tyrlysh, V. V., Mykhailiuk, Yu. D. (2014). *Determination of Multifactor Dependencies of Change of Exhaust Gases Composition in Different Modes of Gas Pumping Unit Operation*. Scientific Bulletin Al Centrului Universitar Nord Din Baia Mare, XXIX (2), 71–83.
4. Elterman, V. M., Braude, M. Z. (1965). К вопросу моделирования движения частиц в конвективном потоке воздуха. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika, 1*, 9–12.
5. Elterman, V. M. (1980). *Ventiliatsiia khimicheskikh proizvodstv*. Moscow: Khimiia, 288.
6. Pisarenko, V. L., Roginskii, M. L. (1981). *Ventiliatsiia robochikh mest v svarochnom proizvodstve*. Moscow: Mashinostroenie, 120.
7. Polukarov, Yu. O. (2005). *Modeliuvannia pylovoho navantazhennia na orhany dykhannia zvarnyka dlia otsinky ryzyku profesiinoi zakhvoriuvanosti*. Kyiv, 140.
8. Levchenko, O. H., Bulat, A. V., Bezushko, O. M. (2009). Vplyv skladu osnovnoho metalu na hiiienichni kharakterystyky aerosoliv, shcho utvoriuiutsia pry zvariuvanni vysokolehovanykh stalei pokrytymy elektrodamy. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini, 17*, 95–101.
9. Kurovets, Ya. V., Semchuk, Ya. M. (2011). Modeliuvannia poshyrennia aerosoliv v protsesi ruchnoho zvariuvannia pry remonti ta budivnytstvi liniinoi chastyny mahistralnykh truboprovodiv u polovykh umovakh. *Rozvidka i rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, 4 (40)*, 57–62.
10. Levchenko, O. G. (1996). Processy obrazovaniia aerosolei. *Avtomaticheskaia svarka, 4*, 17–22.
11. Grudz, V. Ia., Tymkiv, D. F., Iakovlev, E. I. (1991). *Obsluzhivaniia gazotransportnykh sistem*. Kyiv, 160.
12. Taraevs'kyu, O. S. (2010). Maintaining the Reliable Operation of Oil and Gas Pipelines With Account for Mechanochemical Degradation. *Technical sessions on welding*. Madrid, 28–32.

The object of research is the welder safety during the repair and construction of underground pipelines. It is established that manual electric welding is characterized by significant influence on the human body, since the distance from the place of welding to the welder is 20–30 cm, the temperature in the pillar of the welding arc reaches 6500 K. It is contributes to the allocation in the surrounding space of a significant amount of metal

vapor and fine particles (welding aerosol and toxic gases). Theoretical and experimental investigations of the initial part of the welding torch (at a height of 0.4–0.5 m) using manual, semi-automatic welding in the environment of protective gases and welding under a layer of flux have been carried out.

Dependencies for determining axial temperatures and velocities are proposed. It is substantiated that the spreading of aerosols during welding of pipelines in the trench is determined by the physical processes of spreading the welding torch. The hygienic characteristics of the electrodes of the ANO type in the welding processes are investigated. It is established that the total amount of aerosol in the process of welding using ANO-4 electrodes with basic coating reaches 31 g/kg and toxic substances in aerosol up to 9 g/kg. The amount of gases in front of the welder shield during the welding of electrodes by ANO-8 reaches 20 mg/m³.

Empirical equations for determination of aerosols concentration and gaseous concentration of harmful substances are obtained. In addition, an equation for determining the index of workplace pollution of welders, which made it possible to predict individual parameters of working conditions, is obtained.

The mechanism of propagation of aerosols in the trench requires a special consideration, which can be carried out by the method of mathematical modeling, because such physical and chemical processes, as longitudinal and transverse dispersion, molecular diffusion play a role.

The analysis of empirical formulas which can be recommended for determination of parameters in the initial section of a welding torch using flash welding of a pipeline in a trench is done.

Keywords: welder safety, welding torch, main gas pipelines, convective heat, concentration of aerosol.