

### Апробация метода в ряде условных рабочих сред.

Представленная выше модель реализована в виде программного комплекса имитационного 3D моделирования механосборочных систем "GPS 3D".

Она позволяет:

- сформировать модель производственной систем различного уровня иерархии (от рабочего места до цеха);
- проанализировать основные параметры механосборочной системы: уровень загрузки, затраты энергии, материальные затраты;
- оценить эффективность эксплуатации производственной системы по параметрам производительности и себестоимости обработки;
- синтезировать различные организационные структуры производственной системы;
- нормировать технологические операции.

### Выводы:

- как показал анализ производственного цикла, формирование траектории движения элементов модели реального объекта моделирования является наиболее сложным и трудоемким этапом ее подготовки;
- одним из путей решения этой проблемы является создание модели выбора оптимальной траектории движения объекта моделирования на основе учета опорных точек движения и габаритов движущегося объекта;
- сформирована модель точного определения минимальной траектории обхода массива объектов рабочего места (оборудования, производственной мебели, мест складирования и т. д.);
- в качестве реализации предложенного подхода разработана систем 3D моделирования механосборочного производства.

### Список использованных источников

1. Шелковой А. Н. Конструкторско-технологическая подготовка обработки деталей типа «Кронштейн» на обрабатывающем центре VA 500 методами имитационного моделирования / А. Н. Шелковой, И. В. Ковалева // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": збірка наукових праць. Тематичний випуск "Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – № 41. – С. 111-127.
2. Шелковой А. Н. Опыт инжиниринга высокоточной продукции / А. Н. Шелковой, В. А. Фадеев, Ю. Г. Гуцаленко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. прац. Вип. 2. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2008. – С. 118-122.

УДК 331.45:621.791.75

**Н.М. Денисова**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

## ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ

*На основі аналізу санітарно-гігієнічних умов праці зварників наведено комплекс сучасних рішень щодо зниження забрудненості повітря робочої зони, що полягає у використанні організаційно-технічних методів та засобів вентиляції.*

**Ключові слова:** забрудненість повітря робочої зони, зварювальні роботи, методи захисту працівників.

*На основании исследований санитарно-гигиенических условий труда приведен комплекс современных решений по снижению загрязненности воздуха рабочей зоны, который включает организационно-технические методы и средства общей и местной вентиляции.*

**Ключевые слова:** загрязненность воздуха рабочей зоны, сварочные работы, методы защиты работников.

*Based on the analysis of sanitary - hygienic conditions welders are complex modern solutions to reduce air pollution work area that is to use organizational - technical methods and means of ventilation.*

**Key words:** contamination of workplace air, welding, means to protect workers.

**Постановка проблеми.** Одним із основних технологічних процесів у машинобудівній промисловості є електродугове зварювання та інші споріднені технології, що харак-

теризуються значною кількістю шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що призводять до розвитку професійних захворювань робочих зварювальних професій. Незважаючи на існуючий досвід боротьби з цими небезпечними чинниками в комплексах працезохоронних заходів на підприємствах та наукових дослідженнях проблема повної локалізації шкідливих речовин на ділянках ручного дугового зварювання ще не вирішена та потребує комплексного рішення.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Забрудненість повітря робочої зони при електродуговому процесі зварювання виникає внаслідок впливу на основний метал і матеріал електрода тепла дуги, плавлення та часткового випаровування. Пари матеріалів електрода і зварювальної ванни, що утворюються у високотемпературній зоні, виділяються в повітря навколишнього середовища, яке має більш низьку температуру, де, конденсуючись у тверді частини, утворюють у повітрі зважені дрібнодисперсні частини, які за рахунок аеродинамічних сил тривалий час можуть знаходитися в зваженому стані [1; 2]. Дисперсність частинок ЗА коливається в межах від тисячних часток до декількох мікрометрів. Основна кількість частинок має розмір менший ніж 1 мкм. Частинки ЗА можуть приймати форму агломератів з розміром 1...3 мкм, кластерів розміром 1..2 мкм, сферичну форму (діаметром 5...10 мкм), а більш дрібні частинки (розміром від сотих до десятих долей мкм) схильні до утворення ланцюжків [2].

Частки наведеної форми та розміру надзвичайно небезпечні, тому основна вага в професійній захворюваності робочих зварювальних професій складає патологія бронхолегеневого апарату – пневмокніоз і хронічний бронхіт, що розвиваються у осіб до 40 років, зайнятих напівавтоматичним зварюванням сталей при середньому стажі роботи в професії 14,6 років [1].

З'ясовано, що під час зварювання кількість ЗА у зоні дихання зварника, що працює без місцевої вентиляції, складає в середньому  $25 \text{ мг/м}^3$ , а в закритих приміщеннях невеликого обсягу (цистерни, баки) може досягати  $300 \text{ мг/м}^3$ , що в 75 разів перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у складі ЗА. Під час зварювальних робіт на заводах (металоконструкцій) у зоні дихання зварника (під маскою) концентрація ЗА в 6-12 разів перевищує ГДК, а оксидів марганцю – в 10-30 разів.

Кількість повітря, що видаляється при витраті електродів 1 кг/год становить не менш 5-7 тис.  $\text{м}^3/\text{год}$ , але у зв'язку з відсутністю ефективних місцевих відсмоктувачів та пилегазоуловлювачів це не забезпечує належних санітарних норм у робочій зоні. Використання ж засобів місцевого відсмоктування також не завжди ефективні при зварюванні вздовж швів.

Аналіз публікацій [1; 3; 4] показав, що навіть при працюючій вентиляції концентрація шкідливих речовин в атмосфері зварювальних цехів може набагато перевищувати ГДК.

**Постановка мети та завдань дослідження.** На основі аналізу стану забрудненості повітря зварювальних дільниць обрати комплекс заходів та засобів зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони зварників.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** У даний час у промисловості найбільш поширені механізована зварка у вуглекислому газі і ручна зварка штучними електродами. Також застосовується автоматична зварка під флюсом і у вуглекислому газі, порошковим дротом і в інертних газах. У ряді галузей промисловості використовується контактна зварка, в основному точкова і стикова. Зварка дрібних виробів проводиться на стаціонарних робочих місцях – на зварювальних столах, розміщених зазвичай у кабінетах. Виготовлення великогабаритних виробів та їх елементів виконується, як правило, на спеціальних стендах, кантувальниках, кондукторах. Електрозварювання супроводжується виділенням зварювального аерозолі (ЗА), що містить дрібнодисперсну тверду фазу і газу. Інтенсивність утворення ЗА визначається швидкістю плавлення електро-

дно матеріалу і залежить від зварювального струму та напруги дуги, від складу зварювальних матеріалів, основного металу і захисного середовища, а також від положення шва у просторі та техніки зварювання.

Механізм утворення зварювального аерозолі являє собою схему [2; 4]: випаровування - окиснення – конденсація, що доказано результатами рентгенівської та електронної дифрактометрії та свідчать про наявність в аерозолі оксиду  $Fe_3O_4$ , який має кристалічну структуру.

У процесі зварювання в ЗА можуть переходити елементи, що входять до складу зварювальних матеріалів (електродів, флюсів, дротів та ін.) й основного металу – залізо, марганець, кремній, кальцій, калій, магній, натрій, титан, алюміній, хром, нікель, фтор тощо. В результаті окиснення та конденсації цих елементів утворюються тверді частинки складного виду, як і було припущено, у формі оксидів. Проте дослідження структури та виду хімічних сполук (фазового складу) ЗА за допомогою сучасних фізичних методів (інфрачервоної спектроскопії, рентгенофазової та електронної дифрактометрії) дозволили встановити, що крім оксидів до складу ЗА входять також шпінелі, силікати, фториди та інші складні сполуки (наприклад,  $Fe_3O_4$ ,  $Mn_3O_4$ ,  $MnFe_2O_4$ ,  $Fe_2SiO_4$ ,  $Mn_2SiO_4$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $FeO$  та ін.). Неоднорідність фазового складу частинок ЗА пов'язана з тим, що високотемпературна пара також має складний вид, а окремі її складові конденсуються при різній температурі. В першу чергу відбувається конденсація елементів або сполук, пара яких має більш низький тиск, а потім пара елементів з більш високим парціальним тиском. Наприклад, кремній присутній у високотемпературній парі у широкому (1500...3000 К) інтервалі температур у вигляді  $SiO$ . При цих температурах його пара характеризується більш високим парціальним тиском, ніж пара марганцю і заліза. Тому пара кремнію конденсується разом з низькотемпературними оксидами натрію та калію з утворенням силікатів. Центрами конденсації пари можуть бути іони елементів або дрібні бризки металу, які виносяться потоками газу із зони дуги. Таким механізмом утворення ЗА пояснюється неоднорідність будови їх частинок.

Дисперсність частинок ЗА коливається в межах від тисячних часток до декількох мікрометрів. Основна кількість частинок має розмір менший ніж 1 мкм. Частинки ЗА можуть приймати форму агломератів з розміром 1...3 мкм, кластерів розміром 1..2 мкм, сферичну форму (діаметром 5...10 мкм), а більш дрібні частинки (розміром від сотих до десятих долей мкм) схильні до утворення ланцюжків.

Інтенсивність утворення ЗА визначається швидкістю плавлення електродного матеріалу і залежить від зварювального струму та напруги дуги, від складу зварювальних матеріалів, основного металу і захисного середовища, а також від положення шва у просторі та техніки зварювання. Встановлено, що при зварюванні покритими електродами в ЗА переходить 1...3 % від маси електрода, а у випадку зварювання плавким електродом в захисних газах – 0,5...2,0 % від маси зварювального дроту. Хімічний склад ЗА на 80...90 % обумовлено складом зварювальних матеріалів.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що вивчення факторів, які впливають на процес утворення ЗА (а саме, механізм утворення ЗА, закономірностей формування її хімічного і дисперсного складу, будови частинок, а також хімічних реакцій, які проходять при утворенні шкідливих газів), може бути використано під час розробки нових, доскональних у гігієнічному відношенні зварювальних матеріалів та технологій.

Рівні виділень і хімічний склад ЗА, які утворюються при зварюванні покритими електродами, визначаються рядом основних факторів: вмістом у шлаковому розплаві, що утворюється в результаті плавлення покриття на торці електрода, хімічних елементів чи сполук з високою пружністю пари, які здійснюють великий внесок в утворення аерозолів; характеристикою основності (кислотності) шлаку, від якої залежить інтенсив-

вність випаровування окремих його складових; окислювальним потенціалом атмосфери дуги; діаметром електрода і режимом зварювання (сила зварювального струму та напруга дуги). Кількість та характеристика шкідливих речовин, що виділяються виконаними зварювальними роботами, наведено в таблиці 1 [5].

Джерело виділення шкідливих речовин при електрозварюванні – зварювальна дуга – має незначні розміри. Безпосередньо поблизу її концентрація шкідливих речовин дуже висока. Далі конвективний потік над зварювальною ванною і нагрітим металом (виробом) виносить ЗА в повітря приміщення; при цьому відбувається інтенсивне підмішування навколишнього повітря. У процесі видалення від джерела як по горизонталі, так і по вертикалі концентрація шкідливих речовин різко зменшується і на відстані відповідно 2 і 4 м наближається до загального фону забруднення повітря приміщення. Загальний фон у вентиляваних цехах, як правило, не перевищує рівня ГДК. Але в зоні дихання зварювача, що виконує ручні операції, зміст шкідливих компонентів зварювального аерозолю значно (у 7-10 разів) перевершує як фон, так і ГДК.

У вітчизняній і зарубіжній практиці ручного дугового зварювання використовуються електроди з покриттями, які розподіляються на такі основні види: кислі, рутилові, целюлозні, основні (фтористо-кальцієві); а також змішані види покриття: рутилово-кислі (ільменітові), рутил-целюлозні, рутил-основні тощо. Результати досліджень рівнів виділень ЗА, виконаних у різних країнах, показують, що найбільші виділення аерозолю характерні для електродів з целюлозним покриттям. За ними йдуть електроди з покриттям основного типу [3; 4]. Електроди з кислим, рутиловим й ільменітовим покриттям за рівнем виділення ЗА розрізняються між собою незначно, а порівняно з електродом з целюлозним та основним покриттям характеризуються значно меншим виділенням аерозолю.

Таблиця 1

*Характеристика основних шкідливих речовин, що утворюються при ручному дуговому зварюванні*

Показники	Зварювальний аерозоль	З'єднання марганцю	Оксиди хрому	Фтористий водень	Оксиди азоту	Оксиди вуглецю
1	2	3	4	5	6	7
ГДК, мг/м <sup>3</sup>	-	0,2 (при концентрації: У ЗА до 20 %)	1,0	0,05	2,0	20,0
Клас небезпеки	-	2	2	1	2	4
Агрегатний стан (а – аерозоль, п – пари)	-	а	а	п	п	п
Спосіб зварки і марка зварювального матеріалу	Виділення забруднювача, г/кг зварювального матеріалу					
	Ручна дугова зварка сталей електродом					
УОНИ-13/55	18,6	0,97	-	0,93	-	-
УОНИ- 13/65	7,5	1,41	-	1,17	-	-
АНО-4	6,0	0,69	-	-	-	-
АНО-6	16,3	1,95	-	-	-	-
АНО-11	22,4	0,87	-	-	-	-
ЭА-606/11	11,0	0,68	0,6	0,4	1,3	1,4
МЗЗ-III	40	-	-	-	-	-
ЦТ-15	7,9	0,55	0,35	1,61	-	-
	Зварка сталі з флюсами					
ОСП-45	0,09	0,03	-	0,2	0,006	-
ФЦ-2, ФЦ-6, ФЦ-7	0,09	0,01	-	0,05	0,005	-
ФЦ-11, ФЦ-12	0,09	0,05	-	0,02	-	-
АН-22	0,12	0,01	-	0,02	-	-

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
АН-26, АН-30, АН-42	0,08	0,05	-	0,03	-	-
АН-60, АН-64	0,09	0,02	-	-	-	-
АН-348А	0,1	0,03	-	0,2	0,006	-
АНК-30	0,26	0,12	-	0,018	-	-
Дріт						
ЭП-245	12,4	0,54	-	0,36	-	-
ПП-106, ПП-108	12	0,7	-	-	0,8	-
СВ-08Г2С	9,7	0,5	0,02	-	-	14
СВ-Х19Н9Ф2С3	7	0,42	0,03	-	-	14
СВ-10Х20Н7СТ	8	0,45	0,03	-	-	-
СВ-16Х16Н25М6	15	2	1	-	-	-
ЭП-245	12,4	0,61	-	-	-	3,2
СВ-08ХГН2МТ	6,5	-	0,03	-	0,8	11
Д-20	10,9	0,09	-	-	-	-
АМЦ	22,1	0,62	-	-	2,45	-
АМГ-6Т	50	0,25	-	-	0,33	-

У подальших дослідженнях процесів утворення ЗА і для пошуку нових шляхів зниження їх токсичності необхідно більш докладно вивчити дисперсність частинок ЗА, їх процентне розподілення за розмірами та будову. Це дасть можливість виділити найбільш респірабельні (проникаючі в органи дихання) фракції ЗА, встановити фактори, які впливають на розмір та будову частинок і запропонувати нові ефективні способи зниження токсичності аерозолів за рахунок регулювання їх дисперсності, що в кінцевому результаті дозволить розробити нові зварювальні матеріали з поліпшеними гігієнічними характеристиками.

Заходи по оздоровленню умов праці зварників, що застосовувались у попередні роки, не дали помітних позитивних результатів. Проблема створення здорових і безпечних умов праці зварників залишається актуальною. Для її вирішення необхідно скористатися більш радикальним підходом, а саме, як показує світовий і вітчизняний досвід, – поєднанням технологічних та санітарно-технічних заходів щодо усунення шкідливої дії ЗА, а також застосуванням засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) зварників. Перший напрямок – технологічний: полягає у зниженні рівня виділення ЗА в повітря шляхом удосконалення процесу зварювання, виборі технології і способу зварювання, виду і марки зварювального матеріалу, захисного газу та режиму зварювання. Другий напрямок – санітарно-технічний: полягає в локалізації і нейтралізації ЗА шляхом застосування сучасних ефективних засобів місцевої вентиляції. Третій напрямок – застосування ЗІЗОД нового покоління, що дозволяють захищати органи дихання зварників у різних виробничих умовах. Залежно від умов праці, а також від вимог до якості зварного з'єднання необхідно користуватися комплексом цих заходів, або окремими з них.

Також цікавим та корисним є впровадження на виробництвах нової інформаційно-розрахункової системи гігієнічних характеристик зварювальних електродів «Гігієна зварювання» [4], що дозволяє прогнозувати ступінь забрудненості повітря та виконувати вибір зварювальних електродів з кращими гігієнічними а також надавати рекомендації щодо вибору виду вентиляції та засобів індивідуального захисту, що розроблено групою вчених Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці та Інституту електрозварювання імені Е.О. Патона НАН України.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу розроблено комплексне рішення щодо зниження забрудненості повітря робочої зони зварників, що полягає у використанні колективних методів захисту (систем загальної та місцевої вентиляції), індивідуальних

засобів (органів дихання – респіратори), організаційних рішень (використання інформаційних систем) та технологічних заходів (зниження виділень у джерелі шляхом використання електродів з меншою кількістю виділень).

### Список використаних джерел

1. Лубянова И. П. Характер и структура производственно обусловленных заболеваний у сварщиков/ И. П. Лубянова // Довкілля та здоров'я. – 1999. – № 3. – С. 51-57.
2. Левченко О. Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві: навчальний посібник / О. Г. Левченко. – К.: Основа, 2004. – С. 96-98.
3. Гримитлин М. И. Улучшение состояния воздушной среды в сборочно-сварочных цехах // М. И. Гримитлин, С. Ю. Кгондрашов, И. С. Алексеева и др. // Охрана труда в условиях интенсификации производства. – Л., 1987. – С. 40-67.
4. Лук'яненко А. О. Нормалізація концентрації шкідливих речовин на робочих місцях ручного дугового зварювання: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / А. О. Лук'яненко. – К., 2012. – 20 с.
5. Режим доступу: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/845/>.

УДК 004.942:528.8:631.15

**І.В. Бальченко**, аспірант

**В.В. Казимир**, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**В.П. Клименко**, д-р фіз.-мат. наук

Інститут проблем математичних машин та систем НАНУ, м. Київ, Україна

## СУЧАСНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ АГРАРНОЇ ЕКОСИСТЕМИ

*Проведено аналіз сучасних методів та технологій, що застосовуються при вирішенні завдань ефективного управління аграрною екосистемою. Виокремлено завдання управління аграрною екосистемою, що потребують негайного вирішення, та можливі шляхи їх розв'язання.*

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, дистанційне зондування, аграрна екосистема.

*Проведен анализ современных методов и технологий, которые применяются при решении задач эффективного управления аграрной экосистемой. Выделены задачи управления аграрной экосистемой, нуждающиеся в срочном разрешении, и возможные пути их решения.*

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, дистанционное зондирование, аграрная экосистема.

*The analysis of modern methods and technologies which are applied at the solution of problems of effective management by an agrarian ecosystem is carried out. Needing urgent decision problems of management by an agrarian ecosystem and possible ways of their solution are allocated.*

**Key words:** geoinformation technology, remote sensing, agrarian ecosystem.

**Постановка проблеми.** Аграрна екосистема (АЕС) – екологічна система, що об'єднує ділянку території (природний ландшафт), частково або докорінно перетворена людиною, в якій потоки речовини й енергії свідомо спрямовуються в бік максимізації отримання і подальшого відчуження біомаси [1]. Велика територія АЕС може мати складний розчленований рельєф та дуже розмаїтий ґрунтовий покрив, що розрізняється за потужністю гумусового горизонту, механічним і хімічним складом, зволоженням, прогріванням, мірою розвитку ерозійних процесів, випаром й іншим умовами, що впливають на агротехніку і біологічні процеси, які визначають родючість ґрунтів і врожайність сільськогосподарських (с/г) культур. Відсутність достовірної інформації про стан полів не дозволяє прийняти правильне рішення про основну культуру, що буде вирощуватись, та аграрну технологію, що буде застосовуватись для її обробки.

На сучасному етапі розвитку АЕС на перший план виступає проблема оптимізації землекористування, охорони земельних ресурсів та підвищення ефективності ведення с/г виробництва. Тому управління АЕС пов'язане з комплексом агрономічних, меліоративних, економічних та організаційних засобів, всі ланки якого (сівозміни, обробіток