

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут проблем моделювання в енергетиці

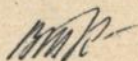
На правах рукопису

ТКАЧЕНКО ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ І ПРИСТРОЇВ  
ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСПЛЕЙНИХ  
ТРЕНАЖЕРІВ ЗВАРЮВАЧА

Спеціальність Об. 13.06 - Елементи і пристрої  
обчислювальної техніки і систем управління

Автореферат дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук



Київ - 1983

АВ 28.271

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Відділенні гібридних моделюючих та керуючих систем в енергетиці Інституту проблем моделювання в енергетиці АН України.

Науковий керівник: член-кор. АН України, доктор технічних наук, професор Васильєв Всеволод Вікторович.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук Романцов Володимир Петрович.
2. Кандидат технічних наук Опанасенко Володимир Миколайович.

Провідна організація: Інститут проблем енергозбереження АН України, 262070, м.Київ, вул. Покровська, 11.

Захист відбудеться "25" листопада 1993 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 016.Б1.01 Інституту проблем моделювання в енергетиці АН України, 262164, м.Київ, вул. Генерала Наумова, 1Б.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ІПМЕ АН України.

Автореферат розісланий 20 жовтня 1993р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

*Семаріна*

Семаріна Е.П.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00810609 (0)

ім. В. Стефаника  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ.** Зварювання є прогресивним методом отримання нероз'єднаних з'єднань, тому зварювальне виробництво постійно розвивається, охоплюючи практично всі галузі промисловості та будівництва. Продуктивність та якість зварювання далеко не в останню чергу залежать від кваліфікації робітників, їх рівня практичної та теоретичної підготовки, тому постійно зростають вимоги до якості навчання зварювачів. Одним з найбільш ефективних засобів професійної підготовки зварювачів в наш час є автоматизовані пристрої для навчання та тренування - зварювальні тренажери, доцільність використання яких обумовлюється не лише скороченням строку навчання та підвищенням його якості, але й тим, що тренажери дають значний економічний ефект внаслідок економії енергії та матеріалів.

Існуючі типи зварювальних тренажерів засновані на різних принципах побудови, мають різні методичні та функціональні можливості, відрізняються сферою застосування. Найбільш широко використовуються зварювальні тренажери, в яких імітація процесу зварювання проводиться різноманітними електромеханічними та електронними засобами, але, як свідчить досвід, їх можливості вже не відповідають сучасним вимогам до якості навчання зварювачів. Насамперед, це пов'язано з низькою ступінню адекватності імітації зварювальних процесів, низькою точністю вимірювальних пристроїв, недостатньо уваги приділяється контролю та аналізу дія зварювача під час тренування та ін.

Усунення вказаних недоліків можливо тільки на основі нових принципів побудови зварювальних тренажерів з використанням комп'ютерної техніки, підвищення адекватності імітації зварювальних процесів та розширенням функціональних можливостей.

Актуальною науковою проблемою є розробка дисплейних комп'ютерних тренажерів зварювача, їх елементів та пристроїв моделювання і контролю процесів дугового зварювання, пристроїв контролю та аналізу дія зварювача, розробка універсальних тренажерів зварювача з метою підвищення ефективності навчання.

Значний внесок в розвиток теорії зварювальних процесів, а також в розробку методів автоматизованого управління зварюванням внесли М.М.Рикалін, Б.Є.Патон, В.К.Походня, В.В.Васильєв та багато інших вчених.

**МЕТОЮ РОБОТИ** є дослідження та розробка елементів та пристроїв інформаційного забезпечення процесу навчання способом ручного дугового зварювання, призначених для підготовки висококваліфікованих

Фізіцистів.

Відповідно до встановленої мети розглянуті такі питання:

- дослідження та розробка принципів побудови дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача та його елементів і пристроїв інформаційного забезпечення, елементів та пристроїв моделювання зварювальних процесів;

- дослідження та розробка моделі динаміки теплових полів, адаптованої до технічних можливостей та особливостей тренажера;

- дослідження та розробка засобів візуалізації моделювання процесу зварювання;

- розробка пристрою визначення просторового положення імітатора ручного інструменту, призначеного для визначення довжини імітованого дугового проміжку, кута нахилу імітатора електроду та положення кінця імітатора електроду відносно поверхні виробів, що зварюються;

- розробка пристроїв контролю та аналізу дій зварювача;

- дослідження структурної побудови тренажерів колективного користування;

- дослідження принципів побудови універсального тренажера зварювача;

- упорядкування сигналів зворотнього зв'язку до зварювача.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ засновані на: теорії імітаційного моделювання; теоретичних основах обчислювальної техніки; методах машинної графіки; математичній логіці; аналізі та синтезі дискретних пристроїв; теоретичних основах дугового зварювання; теоретичних основах програмування.

НАУКОВА НОВИЗНА. В дисертаційній роботі здобуті такі наукові результати:

- в результаті проведених досліджень вирішена актуальна наукова проблема створення високоєфективного, повністю автоматизованого пристрою початкового навчання способом ручного дугового зварювання - дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача;

- запропонована та розроблена модель динаміки теплових полів, адаптована до технічних можливостей і особливостей тренажера, на її основі запропоновано метод імітації зварного шва, що дозволяє більш адекватно імітувати зварювальну обстановку;

- на основі розробленої моделі та запропонованих спеціальних алгоритмів обробки інформації, розроблені основні елементи і пристрої дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача, а також розроб-

лені варіанти їх технічної реалізації;

- запропоновано метод поелементної побудови універсального тренажера зварювача, який дозволяє досягти більш високої ефективності підготовки фахівців на всіх етапах навчання та підвищення кваліфікації;

- на основі запропонованих методів обробки сигналів розроблено пристрій визначення просторового положення імітатору ручного інструменту відносно імітатору об'єкту зварювання;

- запропоновано упорядження сигналів зворотнього зв'язку до зварювача, що навчається на тренажері, яке дозволяє поєднати всі типи сигналів зворотнього зв'язку в єдиному інформаційному просторі.

**ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ.** Розроблений дисплейний комп'ютерний тренажер зварювача, його елементи та пристрої інформаційного забезпечення, моделювання процесів дугового зварювання, пристрої контролю та аналізу дія зварювача, упорядження сигналів зворотнього зв'язку, а також запропоновані методи розробки універсального тренажера зварювача дозволяють комплексно підходити до процесу навчання висококваліфікованих електрозварювачів та підвищити якість навчання внаслідок більш високого ступеня адекватності імітації зварювальних процесів, можливостей застосування різних способів навчання, більш повного подання учбової інформації, об'єктивного контролю та аналізу дія зварювача, що навчається, та ін.

Розроблений дисплейний комп'ютерний тренажер зварювача може знайти широке застосування в системі професійно-технічного навчання способом ручного дугового зварювання.

Автор був відповідальним виконавцем договорів за даною тематикою з ОКБ ІЕЗ ім. Є.О.Патона АН України (1991-92 р.р.), ПТУ м. Барановичі, Республіка Беларусь (1992-93 р.р.), та співвиконавцем договору з УВО "Енергоінформатика" Міненерго України (1989 р.).

**АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.** Основні результати роботи доповідались та отримали схвалення на: науково-технічному семінарі "Застосування машинної графіки в моделюванні та системах навчання" (Пенза, вересень 1989 р.); науково-технічній конференції ІПМЕ АН України (1990 р.); наукових семінарах відділу СМЛ ВГМКСЕ ІПМЕ АН України (1989-93 р.р.).

**ПУБЛІКАЦІЇ.** Матеріали дисертації знайшли своє відображення у 8 друкованих працях, з яких 1 виконана особисто автором, отримано 2 авторських свідоцтва СРСР.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ ПРАЦІ. Дисертація виконана на 154 сторінках машинописного тексту, містить 29 малюнків та складається з вступу, чотирьох глав, закінчення, списку літератури, якої містить 138 праць, та додатку.

## ЗМІСТ ПРАЦІ

У ВСТУПІ дається обґрунтування актуальності праці, формулюється її мета та основні положення, що представляються до захисту.

ПЕРША ГЛАВА присвячена аналізу проблем розробки технічних засобів професійної підготовки зварювачів. Показано, що у зв'язку з поширенням використання зварювального виробництва, зростають вимоги до якості підготовки фахівців. Коротко проаналізовані методи навчання зварювачів, які застосовуються в світі, на основі чого зроблено висновок про необхідність впровадження автоматизованих засобів навчання з метою підвищення його ефективності. Такими засобами є зварювальні тренажери.

Згідно з кваліфікацією, зварювальні тренажери поділяються на два основні типи, перший з яких засновано на фізичному моделюванні зварювальних процесів з використанням або реального зварювального обладнання, або спеціальних пристроїв, в яких зварювальна дуга імітується іскровим розрядом, чи дугою низького струму з високою частотою. Другий тип тренажерів будується на основі імітації зварювальної обстановки різноманітними електромеханічними та електронними пристроями.

Саме останній тип тренажерів головним чином розглядається в даній роботі. На підставі ретельного аналізу тренажерів другого типу, починаючи з простих електромеханічних і завершуючи сучасними зварювальними тренажерами з застосуванням обчислювальної техніки, зроблено висновок, що вони вже не відповідають вимогам до якості навчання.

Недоліки існуючих пристроїв можна визначити таким чином: недостатня адекватність моделювання зварювальних процесів; низька точність вимірвальних пристроїв; обмежені можливості навчання; слабкий зворотній зв'язок з тим, хто навчається; відсутність можливості інтеграції тренажерів різних типів.

Названі недоліки є наслідком застарілих методів структурної побудови тренажерів. Зроблено висновок, що успішне усунення недоліків можливо лише за умови використання як базису розробки тре-

нажерів обчислювальної техніки, зокрема мікропроцесорів та персональних комп'ютерів.

Перш за все подано відоме визначення тренажера як такого. Наведені ергономічні вимоги конкретно до зварювальних тренажерів.

Зроблено висновок, що необхідно також приділяти відповідну увагу якості тренажерів, тобто співвідношенню ефективності технічного пристрою  $W$  до його вартості  $S$ . Встановлено, що у даному випадку ефективність тренажера пов'язана з продуктивністю його обчислювальної системи. Серед існуючих методів досягнення потрібної продуктивності прийнятними є такі: скорочення часу обробки математичної моделі за рахунок її евристичного спрощення, раціональна організація обчислювальної системи та інших пристроїв тренажера.

На підставі аналізу загальних вимог до зварювальних тренажерів автором запропоновані конкретні вимоги, упорядковані у вигляді логічної ієрархічної структури. Можна виділити чотири головні групи, а саме: дидактичні, адекватності, технічні та економічні. Під дидактичними вимогами розуміють можливості пристрою інтенсифікувати процес навчання та зробити його максимально ефективним. Під вимогами адекватності розуміють можливості пристрою відтворювати зварювальну обстановку, яка максимально наближена у своїх зовнішніх проявах до дійсності. Технічні вимоги визначають практичні можливості реалізації вимог адекватності та дидактичних. Нарешті, економічні вимоги спираються на поняття якості як співвідношення ефективності та вартості.

На підставі цієї логічної структури сформульовані головні завдання, які необхідно вирішити при технічній реалізації дисплеяного комп'ютерного тренажера зварювача. Рішення цих завдань взагалом являють собою компроміси між вимогами дидактичними та адекватності з одного боку, та технічними і економічними з іншого. Це:

- розробка евристично спрощеної моделі зварювальних процесів, адаптованої до можливостей обчислювальної системи тренажера, яка б дозволяла відпрацьовувати цю модель та усі необхідні фундації пристрою у реальному масштабі часу;

- розробка методів підвищення адекватності зовнішніх прояв процесу зварювання, що імітується, а також розробка відповідних технічних засобів;

- розробка вимірвальних пристроїв відповідної точності, зокрема пристрою визначення просторового положення імітатора ручного інструменту, який повинен визначати координату взаємодії кінця

імітатору електроду відносно поверхні імітатора об'єкту зварювання, довжину імітованого дугового проміжку та кут нахилу імітатору електроду;

- розробка пристроїв аналізу та контролю зварювального процесу, що імітується;
- розробка сигналів зворотнього зв'язку до зваривача;
- розробка методів побудови універсальних зварювальних тренажерів.

ДРУГА ГЛАВА присвячена моделюванню зварювальної обстановки у дисплейному комп'ютерному тренажері зваривача. Проведено аналіз існуючих математичних моделей у зварюванні. Також зроблено аналіз існуючих методів імітації процесу зварювання, які застосовуються у тренажерах, на підставі чого виявлено, що вони не задовольняють сучасним вимогам навчання зварювачів, насамперед тому, що не мають можливостей імітувати наближену до дійсності форму зварювальної ванни, розподілення теплових полів, що рухаються (тобто їх динаміки), зовнішнього вигляду зварного шва, внаслідок чого знижується адекватність імітування.

Перш ніж розглядати підхід до імітації зварювальної обстановки стисло розглянута структура тренажера. В цілому тренажер складається з дисплею, на якому відтворюється зображення імітуемого процесу; імітатору ручного інструменту (ІРІ), який за допомогою фотоприймача взаємодіє з растром дисплею; контролера ІРІ, який обробляє інформацію фотоприймача; графічної системи тренажера, яка формує зображення та процесору, який провадить обробку всієї інформації в тренажері. Зображення формується методом прямого кодового еквіваленту. Візуалізація моделі провадиться методами машинної графіки. імітатором об'єкту зварювання є екран дисплею.

Автором запропоновані обмеження, які накладаються на модель, що розробляється, котрі можна назвати технічними, тому що вони виникають з конкретної технічної реалізації тренажера. Це:

- 1.) просторова дискретність зображення зварювальної обстановки, що імітується (визначається довжиною елемента растру);
- 2.) двомірність зображення, внаслідок плоского екрану;
- 3.) енергетична дискретність зображення, тобто дискретний рівень яскравості та кольоровості;
- 4.) дискретність часу обробки моделі (визначається продуктивністю обчислювальної системи тренажера).

Також зроблені спрощення, які називаються дидактичними, оскільки тренажер, в першу чергу, є пристрій навчання операторів. Модель, яка буде використовуватись, повинна якомога повніше відтворювати зовнішні прояви, які приступні зору людини-оператора, тому не обов'язково мати високу розрахункову точність моделі.

З точністю, достатньою для практичних цілей, можна вважати, що вся електрична енергія дуги перетворюється на теплову, яка складається з теплоти нагрівання виробу та теплоти втрат у навколишній простір. Приблизно розподіл теплового потоку по поверхні плями нагріву у напрямку радіусу можна визначити кривою Гауса (законом нормального розподілу).

Припускається, що теплота зосереджена в елементарному об'ємі і прикладена миттєво. Вибір за зразок пластини (плоского шару малої товщини  $\delta$ , який безмежно простигається у напрямку  $O_x$  та  $O_y$ ) зроблено за припущенням, що температура по товщі пластини повністю вирівняна (плоский процес). Таким чином, можна розглядати тільки поверхню пластини, що цілком задовольняє наведеним вище обмеженням та спрощенням.

Якщо джерело діє уздовж деякого скінченного проміжку часу  $[0, t]$ , то температуру в тілі можна розрахувати, подавши дію джерела як послідовну дію нескінченно великої кількості миттєвих джерел, час спрацювання яких рівномірно розподілено в інтервалі  $[0, t]$ , що визначається інтегралом по мінімальному проміжку  $\tau$ .

Запропонований підхід полягає в тому, що відповідно до четвертого технічного обмеження в тренажері існує дискретний час обробки інформації (час циклу -  $t_{ц}$ ). Тоді можна розглядати не інтеграл по мінімальному проміжку  $\tau$ , а суму по величині, яка є мінімальним проміжком часу спрацювання імітуємого джерела потужності  $q$  (за умови  $q = \text{const}$ ):

$$T = \sum_{n=1}^m \frac{qK_t}{4\pi c \rho a \delta (n t_{ц})} e^{-\frac{r^2}{4a(n t_{ц})}}, \quad (1)$$

де  $n$  - номер поточного циклу;  $m$  - гранична кількість циклів;  $K_t$  - постійний коефіцієнт, залежний від  $t_{ц}$ ;  $\rho$  - густина металу,  $г/см^3$ ;  $c$  - питома теплоємність,  $Дж/г \cdot С$ ;  $a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $см^2/с$ ;  $\eta_{и}$  - ефективний ККД процесу нагріву виробу.

Значення коефіцієнту  $\eta_{и}$  визначається кількістю циклів обробки

інформації, протягом яких фотоприймач взаємодіє з окремим елементом растру, що за фізичним змістом відповідає проміжку часу, протягом якого зварювальна дуга нагрівала окрему точку виробу.

Можна доповнити рівняння (1) емпіричними коефіцієнтами  $N(n)$  та  $N_0$ , які дозволяють провадити спрощену імітацію не тільки граничного стану процесу поширення теплоти, але й періоду теплонасичення ( $N(n)$  приймає дискретні значення, лінійно підвищуючись з підвищенням  $n$  до визначеного  $n_0$ , за умови  $n \geq n_0$ :  $N(n)=1$ ; коефіцієнт  $N_0$  за фізичним змістом є зрівняння теплового поля  $T'_1$ , визначеного з (1) при  $n=1$ , та теплового поля  $T'_{n_0}$ , визначеного при  $n=n_0$ , тобто  $N_0=T'_1/T'_{n_0}$ , за умови  $\tau=0$ ).

Основний підхід до імітації динаміки теплових полів, запропонований автором, полягає у наступному. Нехай миттєве джерело  $q$  в момент часу  $t_0$  створює в точці  $(x, y)$  теплове поле. Згідно з (1) з підвищенням  $t$  температура швидко знижується, тобто скорочуються розміри теплового поля. Можна припустити, що в момент часу  $t'$ , відмінний від часу дії  $q$  на величину  $\Delta t$  ( $t'=t+\Delta t$ ) в точці  $(x, y)$  діє джерело меншої потужності  $q'$ . В наступний момент  $t''=t'+\Delta t$  діє джерело  $q''$  ще меншої потужності і т.д. Падаюча потужність миттєвих джерел пропорційно  $\Delta t$ .

Припустимо, що миттєве джерело  $q$  послідовно перемістилося за інтервали часу  $\Delta t$  з точки  $x_{0-1}$  в точку  $x_0$ , а потім в точку  $x_{0+1}$ . Скориставшись законом нормального розподілення і зробивши моментальний "знімок" під час дії джерела в точці  $x_{0+1}$ , отримаємо розподілення теплового потоку в точках  $x_{0-1}$ ,  $x_0$ ,  $x_{0+1}$ . Відповідне водночас діючим джерелам  $q''$ ,  $q'$  та  $q$ . Зробивши проектування характерних зрізів кривої розподілу теплового потоку на площину та об'єднавши відповідні проекції за координатами, отримаємо приблизне розподілення теплового поля від  $q$ , яке рухається з постійною швидкістю  $\Delta x/\Delta t$  у напрямку осі  $x$ .

За аналогією (1) можна встановити для точки, що "остигає":

$$T_0 = \frac{qK_t}{4\lambda c \rho a \delta (nt_u)} e^{-\frac{r^2}{4a(nt_u)}} \quad (2)$$

Скориставшись поняттям граничного стану можна рівняння (1) розділити відносно характерної точки  $n_0$  на період теплонасичення:

$$T_n = \sum_{n=1}^{n_0-1} N(n)N_0 \frac{qK_t}{4\lambda c \rho a \delta (nt_u)} e^{-\frac{r^2}{4a(nt_u)}} \quad (3)$$

та граничний стан:

$$T_n = \sum_{n=n_0}^{n_p} N_0 \frac{qK_t}{4\pi r_{\text{раб}}(nt_u)} e^{-\frac{r^2}{4a(nt_u)}}, \quad (4)$$

Коефіцієнт  $n_p$  (реальний час) визначається:  $n_p = n_{\text{max}} - n_0$ .

Відповідно до першого технічного обмеження визначимо тривалість елемента растру по горизонталі  $x_p$  та вертикалі  $y_p$ . Для спрощення розрахунків встановимо  $|x_p| = |y_p|$ .

Враховавши третє технічне обмеження, тобто енергетичну дискретність, можна виділити основні температурні зони, які відповідають характерним ізотермам в зоні термічного впливу (для конкретної практичної реалізації їх можна виділити від 4 до 8).

Завдання імітації теплових полів зведено, таким чином, до знаходження радіусів характерних ізотерм, які потрібно визначати окремо по рівнянням (2) - (4). Зробивши відповідні перетворення та спрощення, та враховавши, що ізотерми для всіх періодів однакові, отримаємо систему рівнянь, в якій радіуси характерних ізотерм визначаються відносно  $n_0$ . Цю систему рівнянь можна оптимізувати, якщо змінити послідовність формування теплового поля.

Припустимо, що в нову точку перенесено нь поле, яке було створене за час  $n_0 t_u$ , а повністю поле попередньої точки. Тоді можливі три випадки:

1.)  $n_{pT} = n_{pn}$ ; 2.)  $n_{pT} > n_{pn}$ ; 3.)  $n_{pT} < n_{pn}$ ; де  $n_{pT}, n_{pn}$  - коефіцієнти відповідно поточного та попереднього стану.

Перший випадок є квазістаціонарним процесом (за умови  $q = \text{const}$ ). Таким чином, вирівняльна система рівнянь буде мати вигляд:

$$R_{n_{pT}}(x_p) = R_{n_{pn}}(x_p) + C_0 \sum_{n=C_1}^{C_2} A \sqrt{n} \left[ 1 - T_c \frac{V \delta n}{U I} \right]; \quad (5)$$

$$C_0 = \begin{cases} 0, & \text{якщо } n_{pT} = n_{pn}; \\ 1, & \text{якщо } n_{pT} > n_{pn}; \\ -1, & \text{якщо } n_{pT} < n_{pn}; \end{cases} \quad (6)$$

$$C_1 = \begin{cases} n_{pn}, & \text{якщо } n_{pT} > n_{pn}; \\ n_{pT}, & \text{якщо } n_{pT} < n_{pn}; \end{cases} \quad (7)$$

$$C_2 = \begin{cases} p_{рТ}, \text{ якщо } p_{рТ} > p_{рп}; \\ p_{рп}, \text{ якщо } p_{рТ} < p_{рп}; \end{cases} \quad (8)$$

$$A = \sqrt{4at_{ц}} = \text{const}; \quad B = \frac{2\lambda \rho a t_{ц}}{N_0 K_t \eta_n} = \text{const}. \quad (9, 10)$$

Постійні коефіцієнти А та В розраховуються попередньо для кожного конкретного матеріалу, що імітується, та в залежності від характеристик обчислювальної системи тренажера.  $R_{пТ}(x_p)$ ,  $R_{пп}(x_p)$  - повні радіуси 1-ої ізотерми поточного та попереднього стану.

Коефіцієнт  $\eta$  в наведених рівняннях має зміст зворотно пропорційний швидкості зварювання.

Запропонована модель являє собою дискретне підсумовування скінченної кількості безперервних нерухомих джерел, що, звісно, впливає на точність моделювання, оскільки не враховується багато важливих особливостей. Але не потрібно формувати зображення складних кривих, а лише круги різного діаметру, зсунуті відносно один одного. Необхідно поєднати множини точок, які мають рівні значення яскравості та кольоровості, що здійснюється досить легко.

Таким чином, запропонована модель адаптована до технічних можливостей та особливостей тренажера і дозволяє відтворити основні явища, пов'язані з поширенням тепла на поверхні виробу під час зварювання за допомогою електричної дуги.

Імітація зварного шва заснована на розробленні моделі динаміки теплових полів і полягає в тому, що в кожний момент часу  $t_{цп}$ , відмінний від  $t_{ц}$  з врахуванням коефіцієнту  $N_{ш}$  ( $N_{ш} = K_{ш}/\eta$ , де  $K_{ш}$  - коефіцієнт, залежний від обчислювальної та графічної систем тренажера), в кожній точці  $x_{рп}$  можна залишити слід, відповідний її власному контуру, що і буде зображенням шва.

ТРЕТЯ ГЛАВА присвячена дослідженню та розробці пристроїв дисплеяного комп'ютерного тренажера зварювача. Здійснено аналіз функціональної побудови тренажера, який взагалі складається з контрольно-моделюючого блоку (КМБ), дисплею, та імітаторів ручного інструменту (ІРІ). Найбільш важливим є КМБ.

До КМБ тренажера пред'являються такі вимоги: висока інформативність процесу навчання; висока обчислювальна потужність; функціональна гнучкість, здатність нарощувати можливості тренажера з мінімальним введенням додаткових засобів; простота, надійність та економічність технічної реалізації.

Як було встановлено раніше, для успішного задоволення цих вимог необхідно обрати принцип програмованості, тобто застосувати засоби обчислювальної техніки. Робиться перехід від функціональної до електричної принципальної схеми, завдяки розподілу функціональних блоків КМБ на апаратні, програмні та апаратно-програмні. При розробці принципальної схеми тренажера за основу взято мікропроцесор з архітектурою фірми Intel. В результаті КМБ тренажера має три функціонально та конструктивно закінчені модулі, поєднані за допомогою системної магістралі (СМ) типу Multibus: модуль процесора, графічний модуль та модуль керування імітаторами. Це і є власно спеціалізований комп'ютер, до якого підключаються специфічні імітуючі пристрої, тобто ІРІ та дисплей.

На основі запропонованого тренажера подано структуру тренажера колективного користування, за допомогою якого можливо одночасно проводити навчання групи зварювачів. Доведено, що в разі використання на окремому робочому місці "інтелектуального" комп'ютерного тренажера, доцільно застосовувати принципи побудови стандартних локальних мереж персональних комп'ютерів.

Дуже важливим для побудови дисплейного тренажера зварювача є питання про те, що і з якою якістю зображення показувати зварювачу під час навчання. На підставі розробленої моделі динаміки теплових полів сформульовані технічні вимоги до пристрою формування графічної інформації растрового типу (графічного модуля). У даному пристрої об'єднано разом формування зображення зварювальної обстановки та супроводжувальної інформації (текстів, цифр та візуальних сигналів зворотнього зв'язку), які можуть видаватися зварювачу водночас. На підставі цього проведено розрахунок пристрою.

Запропоновано два типи структури дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача, залежно від якості і повноти імітації зварювальної обстановки. Це мультимікропроцесорний тренажер, призначений для максимально повного відтворення імітуємого процесу, та спрощений тренажер наведеної вище структури, в якому ускладнено пристрій формування графічної інформації, за рахунок введення додаткового, рухомого відносно основного растру, в якому формується зображення зварювальної ванни.

Проаналізовані структурний та функціональний методи програмного формування зображення, встановлено, що для дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача більш прийнятним є структурний метод.

Особливу увагу приділено розробці пристрою визначення просто-

рового положення ІРІ, який повинен виконувати такі функції: вимірювання координат точки взаємодії імітатора електроду (ІЕ) відносно поверхні екрану; вимірювання відстані між кінцем ІЕ та поверхнею екрану, що відповідає довжині імітуемого дугового проміжку  $L_d$ ; вимірювання кута нахилу ІЕ відносно екрану, що відповідає куту  $\alpha_s$ .

ІЕ являє собою "світлове перо", тобто інформація від екрану сприймається фотоприймачем, сигнали якого потім відповідним чином обробляються. При реалізації першої функції пристрою автором було запропоновано використання широтно-імпульсного методу замість поширеного в існуючих пристроях амплітудного. Обробка інформації від фотоприймача проводиться по всій захопленій поверхні зображення (ЗП). Це зроблено тому, що внаслідок вузької спектральної характеристики фотоприймача, при роботі з кольоровим зображенням за умов різних рівнів яскравості, амплітудний метод дає дуже велику погрішність, що є зовсім неприйнятним в тренажері зварювача.

Суть запропонованого підходу полягає в тому, що шукється найбільш широкий імпульс від фотоприймача. Координату потрібної точки по горизонталі можна знайти:

$$X_{pзп} = X_p (K_{нс} m_{нсзп} + K_{нс} (1/2 m_{нсзп} + n_r)) = X_p m_{ц}; \quad (11)$$

$n_r=0$ , якщо  $m_{нсзп}$  - парний;  $n_r=1$ , якщо  $m_{нсзп}$  - непарний,

де  $m_{нсзп}$  - кількість елементів растру до початку ЗП;  $m_{цзп}$  - кількість елементів растру у ЗП;  $m_{ц}$  - сумарний коефіцієнт центру строки у ЗП;  $K_{нс} = \text{const}$ ,  $K_{нс} = \text{const}$  - емпіричні коефіцієнти, що приблизно враховують інтегральне змінення яскравості та кольоровості точок: у ЗП.

Відповідно координата по вертикалі:

$$Y_{pзп} = Y_p (n_{нк} + 1/2 n_{зп} + n_r) = Y_p n_{ц}; \quad (12)$$

$n_r=0$ , якщо  $n_{зп}$  - парний;  $n_r=1$ , якщо  $n_{зп}$  - непарний,

де  $n_{зп}$  - кількість строк у ЗП;  $n_{нк}$  - кількість строк до початку ЗП;  $n_{ц}$  - сумарний коефіцієнт центральної строки ЗП.

Таким чином, визначення координат зводиться до знаходження коефіцієнтів  $m_{ц}$  та  $n_{ц}$ .

Визначення довжини імітованого дугового проміжку  $L_d$  та кута нахилу ІЕ  $\alpha_s$  засновано на відомому принципі оптичної інфрачервоної локації. Розроблена схема пристрою відрізняється від відомих тим, що застосовано вісім інфрачервоних випромінювачів, які посиляють сигнали до поверхні екрану по чергово. Тоді, з отриманих за допомо-

гою аналого-цифрового перетворювача значень  $L_{дi}$  ( $i=1,2,\dots,8$ ), діянням буде мінімальне, тобто  $L_{д} = \min \{ L_{дi} \}$ . Знаходження  $\alpha_2$  в цьому випадку пропорційно до максимальної різниці між протилежними парами випромінювачів (1-5, 2-6 і т.д.), тобто, визначивши відповідні  $L_{дi}$  в парах  $L_{пнi}$ , де  $p$  - номер пари,  $n$  - номер випромінювача в парі ( $p = 1,\dots,4$ ;  $n = 1,2$ ), будемо мати:  $\alpha_2 = K A_m$ , де  $A_m = \max \{ |L_{п1} - L_{п2}| \}$ ;  $K$  - коефіцієнт пропорційності.

Велику увагу приділено пристроям аналізу та контролю імітуемого процесу зварювання, які необхідні для ефективного функціонування дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача. Ці функції здійснюються суто програмними засобами, але з метою більшого уяочення їх представлено у вигляді функціональних схем; ці пристрої названо умовними логічними ілюстраторами.

Автором запропоновано декілька таких пристроїв, найбільш важливими з яких є пристрій відтворення та аналізу пройденої траєкторії та пристрій відтворення виконаного сеансу зварювання. Перший з них дозволяє повністю відтворити траєкторію ІЕ вздовж імітуемого виробу, та провести ретельний аналіз цієї траєкторії за контрольованими параметрами зварювального процесу ( $L_{д}, \alpha_2, H, V$ ), тобто зробити пошарові зрізи (наприклад, в яких місцях траєкторії  $L_{д}$  дорівнювалась 4 мм). Це дуже важливо з точки зору навчання, тому що можна точно встановити на якій ділянці траєкторії дії зварювача були неправильними, які робочі рухи потребують подальшого засвоєння, тощо.

Пристрій відтворення виконаного сеансу побудований близько до попереднього та дозволяє відтворити запам'ятований сеанс навчання як у реальному, так і регульованому масштабі часу, що дуже важливо при оцінюванні та аналізі дій зварювача. Перевагою цього пристрою є те, що відтворення сеансу провадиться штатними засобами тренажера без застосування додаткового зовнішнього обладнання (наприклад, відеомагнітофона).

Наприкінці глави наведено метод технічної реалізації дисплейного тренажера зварювача на основі стандартної серійної ПЕОМ типу ІВМ РС. Здійснено відповідний аналіз і розрахунок, на підставі чого зроблено висновок, що для перетворення ПЕОМ у зварювальний тренажер, її необхідно доповнити розробленим пристроєм визначення просторового положення ІРІ разом з власною ІРІ, та спеціалізованим програмним забезпеченням імітації, контролю та аналізу сеансу зварювання, яке базується на розробленій моделі та запропонованих пристроях логічних ілюстраторів.

У ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ розглянуті питання створення універсального тренажера зварювача, а також упорядження сигналів зворотнього зв'язку (ЗЗ) до зварювача, що навчається. З метою визначення потрібної якості майбутнього тренажера та його споживацької цінності запропоновано три рівні універсальності: дидактичний, інформативний та агрегатний. Дидактичний рівень є головним з точки зору тренажера як такого і складається з універсальності призначення, режиму використання тощо. Цей рівень співвідноситься з дидактичними вимогами до дисплейного тренажера, які розглянуті в першій главі. Інформативний рівень визначає повноту моделювання зварювальної обстановки. Цей рівень співвідноситься з вимогами адекватності до дисплейного тренажера. Агрегатний рівень визначає універсальність тренажера з боку технічної реалізації. Основою цього рівня є дидактична та інформативна універсальність. Показано, що для повного задоволення вимог універсальності, максимальні зміни на дидактичному рівні повинні приводити до мінімальних змін на агрегатному рівні. Агрегатний рівень співвідноситься з технічними вимогами до дисплейного тренажера та базується на принципах нарощуваності і інтеграції.

Запропоновано метод створення універсального тренажера зварювача, який полягає в тому, що відповідним чином поєднуються можливості і пристрої тренажерів різних типів (у наведеному випадку це дисплейний та відомий малоамперний дуговий тренажери). В результаті, універсальний тренажер складається з єдиного КМБ, до якого підключаються в залежності від потрібного режиму роботи специфічні пристрої (ІРІ різних типів, тощо). Запропонований підхід дозволяє досить легко реалізувати універсальний тренажер на основі розробленого дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача.

З метою упорядження сигналів ЗЗ до зварювача в універсальному тренажері насамперед аналізується загальне поняття зворотнього зв'язку та відповідні поняття для процесу навчання зварювачів. На підставі аналізу зроблено висновок, що імітація зварювальної обстановки в тренажері є сукупністю ситуаційних сигналів ЗЗ, тому при розробці тренажерних пристроїв саме їм потрібно приділяти головну увагу, а також візуальним контрольним сигналам ЗЗ, як найбільш ефективним з усіх типів контрольних сигналів ЗЗ. Запропоновано декілька візуальних контрольних сигналів ЗЗ за основними параметрами імітуемого процесу зварювання. Всі типи ЗЗ подаються зварювачу водночас, тобто знаходяться в єдиному інформаційному просторі.

У ЗАКІНЧЕННІ формулюються основні результати роботи.

У ДОДАТКУ наведені матеріали, які засвідчують практичну цінність отриманих результатів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ можуть бути сформульовані таким чином:

1. На основі запропонованих спеціальних алгоритмів обробки інформації розроблено дисплейний комп'ютерний тренажер з широкими можливостями навчання для підготовки кваліфікованих зварювачів, та його основні елементи і пристрої.

2. Запропонована і розроблена модель динаміки теплових полів, адаптована до можливостей та особливостей тренажера, на її основі запропоновано метод імітації зварного шва, внаслідок чого значно підвищується ступінь адекватності імітуємої зварювальної обстановки.

3. На основі запропонованої моделі досліджені та розроблені засоби візуалізації імітуємого зварювального процесу, в основу яких покладено растровий принцип та методи машинної графіки. Запропоновано різні варіанти реалізації тренажера (зокрема мультимікропроцесорний тренажер) та пристрою формування графічної інформації, які визначаються вимогами до повноти імітації зварювальної обстановки.

4. Запропоновано метод поелементної побудови універсального тренажера зварювача, внаслідок чого універсальний тренажер являє собою єдиний контрольно-моделюючий блок, до якого підключаються специфічні імітуючі пристрої. Такий тренажер може бути практично реалізований на основі розробленого дисплейного комп'ютерного тренажера зварювача.

5. Запропоновано упорядження сигналів зворотнього зв'язку до зварювача, що навчається на тренажері, яке дозволяє поєднати всі типи сигналів зворотнього зв'язку (ситуаційні, контрольні та оціночні) в єдиному інформаційному просторі.

6. Розроблено пристрій визначення просторового положення імітатора ручного інструменту, який дозволяє з достатньою для цілей навчання точністю визначати положення кінця імітатора електроду відносно імітатора об'єкту зварювання.

7. Запропоновані та розроблені пристрої контролю та аналізу імітуємого сеансу зварювання.

8. Запропоновано метод технічної реалізації високоефективного дисплейного тренажера зварювача на базі серійної ПЕОМ типу IBM PC.

9. Запропоновано дисплейний тренажер колективного використання, який заснований на принципах побудови локальних мереж ПЕОМ.

10. В результаті проведених досліджень і на основі запропонованих методів був розроблений та практично реалізований у вигляді експериментального зразка дисплейний комп'ютерний тренажер зварювача (електронний мікропроцесорний тренажер зварювача - ЕМТЗ), який пройшов лабораторні іспити та був впроваджений в ОКБ ІЕС ім. Є.О.Патона у вигляді технічної документації. Також результати наукових досліджень з дисплейного та універсального тренажерів були впроваджені в УВО "Енергоінформатика" Міненерго України у вигляді технічного звіту.

#### ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дуговые сварочные тренажеры на основе программно-круемой логики / В.В.Васильев, С.Н.Даниляк, Г.В.Давыдова, В.В.Ткаченко. - Киев, 1990. - 41 с. - (Препр. / АН УССР. Ин-т проблем моделирования в энергетике; 90-29).

2. Организация сопряжения ЭВМ электронного сварочного тренажера с видеоманитофоном / В.В.Васильев, А.Ф.Зыков, С.Н.Даниляк, В.В.Ткаченко // Электронное моделирование. - 1990. - 12, N 2. - С. 68 - 62.

3. Построение универсальных сварочных тренажерных систем / В.В.Васильев, В.В.Ткаченко, С.Н.Даниляк. - Киев, 1990. - 46 с. - (Препр. / АН УССР. Ин-т проблем моделирования в энергетике; 90-33).

4. Применение машинной графики в комплексном микропроцессорном дисплейном тренажере сварщика / С.Н.Даниляк, А.Ф.Зыков, Г.В.Давыдова, В.В.Ткаченко // Применение машинной графики в моделировании и обучающих системах: Тез. докл. семинара 18 - 19 сент. 1989. - Пенза, 1989. С. 36 - 37.

Б. Самюв А.В., Лисицин Е.Б., Ткаченко В.В. Организация выполнения параллельных алгоритмов ИАС при помощи сетей Петри // Сб. статей XXX конф. КВВАИУ, Часть 1. - Киев, 1989. - С. 21 - 24.

Б. Ткаченко В.В. Параллельная обработка графической информации в электронном тренажере сварщика // Применение машинной графики в моделировании и обучающих системах: Тез. докл. семинара 18 - 19 сент. 1989. - Пенза, 1989. С. 90 - 91.

7. А.с. 1663619 СРСР, МКВ<sup>Е</sup> G09B19/24. Тренажер сварщика / В.В.Васильев, С.Н.Даниляк, В.В.Ткаченко, А.Ф.Зыков, Г.В.Давыдова и А.И.Карпий. - Оpubл. 15.07.91, БИ № 25.

8. А.с. 1686202 СРСР, МКВ<sup>Б</sup> B23K9/10. Устройство для слежения по стыку / В.В.Васильев, С.Н.Даниляк, А.И.Карпий, В.В.Ткаченко, А.Ф.Зыков, Г.В.Давыдова. - Оpubл. 07.12.91, БИ № 46.

Полписано и печатк II. IO. 93 г.  
Отп. на ротапринте Киевгипрогаиса  
Зак. №196-100экс. 15.10.93г.

462507

As 28.271  
**AV 28.271**