УДК 621.747.52:681.52

Голобородько А. М., Аль-Суод Махмуд Мухаммад

УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОГІДРОІМПУЛЬСНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ЗАПРЕСОВКИ ТРУБ І ЗАДАЧІ ЇЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Стаття присв'ячена темі пошуку шляхів вдосконалення управління електрогідроімпульсной установкой для запресовки труб в трубних теплообмінниках. Проведено аналіз існуючих технологій, а також програмних засобів з позиції їх автоматизації. Виявлено ряд недоліків різних технологічних процесів. Сформульовані вимоги до автоматизації технологічного процесу і до управління електрогідроімпульсной установкой. Показано, що на сьогодні задача керування режимом розряду не розв'язана, а задача керування рухом електрода розв'язана лише для випадку запресовки труб з постійним кроком. Показано, що визначення координат точок обробки і формування програми може бути реалізовано за допомогою методів автоматичної обробки відео зображень об'єктів.

Ключові слова: *електрогідроімпульсна установка, запресовка труб в трубних теплообмінниках, керування.*

Статья посвящена теме поиска путей совершенствования управления электрогидроимпульсной установкой для запрессовки труб в трубных теплообменниках. Проведен анализ существующих технологий, а также программных средств с позиции их автоматизации. Выявлен ряд недостатков различных технологических процессов. Сформулированы требования к автоматизации технологического процесса и к управлению электрогидроимпульсной установкой. Показано, что в настоящее время задача управления режимом разряда не решена, а задача управления движением электрода решена лишь в случае запрессовки труб в решетки с постоянным шагом. Показано, что определение координат точек обработки и формирование программы может быть реализовано с помощью методов автоматической обработки видеоизображений объектов.

Ключевые слова: *электрогидроимпульсная установка, запрессовка труб в трубных теплообменниках, управление.*

An article is dedicated to the topic of finding the ways of improvements in the field of control of electro-hydro-impulse technology of pipes press-fitting. There was done an analysis of existing technologies and software decisions from the position of their automation. A set of imperfections in different technological processes was found. The requirements for the automation of technical process and for the electro-hydro-impulse engine were formulated. There was shown, that currently the problem of controlling of discharging mode was not resolved, but the problem of control of moving electrode was solved just for the case of pipes press-fitting to the grids with fixed step. There was shown, that identification of coordinates of the points of processing and forming the program could be implemented by using the methods of automatic processing of the objects video.

Key words: *electro-hydro-impulse technology, pipes press-fitting, control.*

Прискорення науково-технічного прогресу, інтенсифікація виробництва приводять до необхідності застосування нових прогресивних технологій, що дозволяють отримувати матеріали з нетрадиційними властивостями і забезпечувати ефективні методи їх обробки. Це зумовило широке поширення в промисловості імпульсних методів обробки, що дозволяють здійснювати концентрований вплив в певних точках виробів з досягненням при цьому високих питомих енергетичних показників.

Імпульсний високовольтний розряд як процес швидкого перетворення енергії електричного поля в інші види цікавий не тільки як об'єкт досліджень у фізиці та енергетиці, але і з точки зору все більш широкого впровадження його в практику промислового виробництва. Розряд у щільних конденсованих середовищах (найчастіше у воді) використовується у промисловій технології як джерело імпульсних

тисків, під впливом яких оброблювані матеріали можуть піддаватися руйнуванню, формоутворенню і змінювати свої структурні властивості.

Однією з основних з точки зору технічного застосування електровибуху у воді є технологія запресовування трубних з'єднань.

В даний час відсутність ефективних систем управління перешкоджає широкому впровадженню технології електрогідравлічного запресовування.

Стан предмета досліджень основні тенденції і технічні рішення

Для створення системи управління ЭГУ передусім необхідно побудувати математичну модель установки. Структура математичної моделі визначатиметься фізичним пристроєм установки і специфікою організації в ній технологічного процесу. Інструментом дії на об'єкт обробки в цій установці являється комплекс діючих чинників, які супроводжують високовольтний розряд в рідині.

При розробці нових методів і засобів автоматичного управління в першу чергу слід орієнтуватися на електрогідроімпульсні установки із застосуванням вибуху провідника, типовим представником яких є електрогідроімпульсна установка для запресовування труб. Запресовування робиться за допомогою спеціальних електровибухових патронів, що поміщаються в кінці запресованих труб. Патрони складаються з корпусу, заповненого водою і вибухаючої проволочки [1]. Саме у електровибуховому патроні відбувається перетворення електричної енергії, запасеної в конденсаторній батареї, в механічну енергію імпульсу стискування, що впливає на внутрішню поверхню труби і здійснює її деформацію (запресовування). Вибух патронів робиться за допомогою зарядженої конденсаторної батареї, що підключається до патрона. Для реалізації технологічного процесу запресовування необхідно забезпечити заряд батареї, її підключення до патрона, і після вибуху останнього, відновлення заряду і перехід до запресовування наступного з'єднання.

Для виконання цих операцій установка для электрогідроімпульсної запресовки труб (рис. 1) складається з устаткування для перетворення енергії, що забезпечує заряд батареї і вибух патрона, що включає зарядний і розрядний контури, і устаткування для переміщення електроду, що забезпечує почергове підключення батареї до патрона.

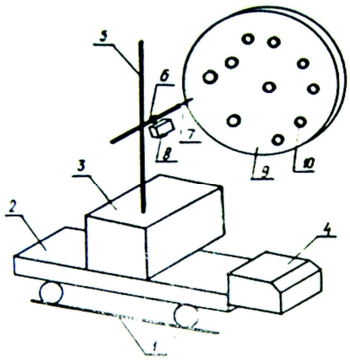

Рис. 1. Принципова схема отримання електрогидроімлульсної запресовки труб

Установка працює таким чином. По горизонтальних направляючих 1 переміщається каретка 2, на якій розташовані приводи вертикального 3 і горизонтального 4 механізмів переміщення електроду. По вертикальній направляющій 5 переміщаються хомут 6 з електродом 7. Останній механічно сполучений з телевізійною камерою 8, спрямованою на трубні грати 9 зі вставленими в кінці труб електровибуховими патронами. У момент підходу електроду до чергової труби з патроном розрядний ланцюг (рис. 2) замикається, відбувається електровибух, що супроводжується запресовкою труби в трубні грати.

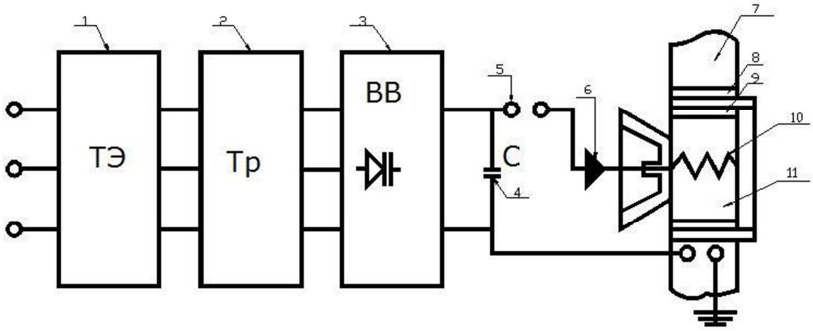

Рис. 2. Структурна схема установки для запресовки труб:
I – струмообмежувальний елемент, 2 – трансформатор 3 – високовольтний випрямляч, 4 – конденсатор, 5 – комутатор, 6 – електрод, 7 – трубні грати 8 – труба, 9 – електровибуховий патрон, 10 – вибухаючий провідник, II – рідина

Для управління процесами, що протікають в ЭГУ, необхідно управляти зарядом накопичувача, вибухом патрона і рухом електроду. Необхідно відмітити, що процес заряду безпосередньо на процес вибуху і якість отримуваних з'єднань не впливає. Це пояснюється тим, що зарядні і розрядні струми відрізняються на декілька порядків і складають відповідно до [2] одиниці ампер і сотні кілоампер. Зарядні процеси повинні забезпечити до моменту вибуху необхідну напругу накопичувача, тобто забезпечувати початкові умови вибуху до моменту підходу електроду до чергового патрона.

У зв'язку з цим вектор стану X об'єкту визначатиметься поточними геометричними координатами виконавчого органу і координатами, що впливають на режим вибуху.

Як показали раніше проведені дослідження [2] процеси перетворення енергії і руху виконавчого органу – електроду невзаємозв'язані, тому ЭГУ як об'єкт управління можна розділити на два незалежні об'єкти з векторами стану X_P і X_g;

$$X = \langle X_p, X_g \rangle, \tag{1}$$

де X_P і X_g – вектори стану, що характеризують відповідно рух виконавчого органу і режим вибуху.

Тому завдання управління процесами є незалежними і можуть виконуватися двома незалежними підсистемами: САУ рухом і САУ режимом вибуху. Але при цьому слід зазначити, що для забезпечення їх правильного функціонування необхідно, щоб перехідні процеси в САУ режимом вибуху закінчувалися впродовж часу, необхідного для переміщення електроду до наступного патрона. Ця умова забезпечить у момент підходу електроду до патрона необхідне значення координат вектору стану XP.

У перших моделях ЭГУ ЗТ [1] управління як процесом вибуху так і рухом електроду здійснювалося в ручному режимі. Спочатку оператор, при візуальному контролі, підводив електрод до патрона, потім по кіловольтметру стежив за зарядом накопичувача і у момент досягнення напругою заданого рівня подавав сигнал на вибух патрона. Завдання управління, в цьому випадку, виконувалися оператором послідовно, вимагали від нього уваги, продуктивність установок була низька.

Подальше вдосконалення систем управління пов'язане з появою пристроїв задання кроку переміщення електроду, які в перших моделях установок Т0223, Т0226 були редуктором із змінними шестернями [1]. Але при такому способі точність задання кроку була невисока, виникали складнощі з його зміною при переході до обробки інших типів теплообмінників. Тому в подальших моделях [3] пристрої задання кроку були реалізовані на лічильниках із змінним модулем відліку. Лічильники підраховували імпульси від перетворювачів, встановлених на механізмах переміщення.

Сигнал на підривання патрона подавався в автоматичному режимі у момент виконання електродом кроку. Для забезпечення заданого режиму вибуху зарядний струм в цих моделях регулювався так, щоб до моменту підходу електроду до наступного патрона накопичувач заряджався до необхідної напруги. Але виконання цієї умови не контролювалося, через що виникали помилки в заданні режиму вибуху.

Наступним кроком у вдосконаленні системи із заданням кроку була електрична схема ЭГ установки запропонована в роботі [4].

При використанні цієї системи з високою точністю забезпечувалося як задання кроку переміщення електроду, так і напруга накопичувача у момент вибуху.

Ряд супутніх завдань управління вирішувалися в роботах [3; 4]. Так, в роботі [4] у разі відсутності вибуху патрона передбачалася подача повторного сигналу на вибух. У роботі [3] непрямими методами по амплітуді розрядного струму вирішувалося завдання визначення і реєстрації координат неякісно запресованих труб.

Описані вище системи автоматичного управління могли функціонувати тільки при запресовці труб в гратах з постійним кроком. Запресовка труб в гратах з іншою конфігурацією отворів здійснювалася в ручному режимі управління. Крім того в цих системах режим вибуху не регулювався, а стабілізувалася лише одна з координат вектору X_p – напруга накопичувача U. Параметри розрядного контура З, L визначаються моделлю установки для электрогідроімпульсної запресовки («Блискавка», Т0223, Т0226), а напруга заряду накопичувача встановлюється безпосередньо перед запресовкою і в процесі обробки не регулюється.

Індуктивність розрядного контура змінюється в процесі руху електроду внаслідок зміни довжини розрядного контура і його просторового положення. Це призводить до зміни режиму вибуху і появи неякісних пресових з'єднань, внаслідок чого змінюється вектор стану об'єкту X_p і режим вибуху патрона, що призводить до появи неякісних пресових з'єднань. Ці з'єднання виявляються після установки теплообмінного апарату на гідровипробування, при проведенні яких в місцях неякісних з'єднань з'являється теча. У разі її появи теплообмінник повертають на повторну запресовку. Відсутність системи управління режимом вибуху призводить до частого транспортування теплообмінника з цеху в цех і багатократного проведення дорогих гідровипробувань, що збільшує тривалість його виготовлення і знижує продуктивність ЭГУ. Тому управління режимом вибуху як спосіб забезпечення необхідної якості пресових з'єднанні є актуальним завданням. Її рішення дозволить підвищити якість отримуваних пресових з'єднань, понизити рівень енерговитрат і трудомісткість процесу злектрогідроімпульсної запресовки, підвищити продуктивність установок.

Таким чином в існуючих САУ завдання управління режимом не вирішене, а завдання управління рухом вирішене лише у разі обробки грат з постійним кроком.

В той же час промисловістю випускаються велика кількість теплообмінників з іншими схемами розташування пресованих з'єднань. Як вказано в [5], отвори під труби в трубних гратах теплообмінних апаратів можуть розташовуватися як на горизонтальних, так і на бічних поверхнях теплообмінника. При розташуванні пресованих з'єднань на бічній поверхні отвори під труби розташовуються з постійним кроком [1]. Якщо пресовані з'єднання знаходяться на горизонтальних поверхнях теплообмінника, розташування отворів під труби може бути описане як в прямокутній, так і в полярній системі координат [5]. При цьому, відповідно до [1; 5] отвори під труби можуть розташовуватися як по усій площі трубної дошки з постійним кроком, так і окремими областями з наявністю зони без отворів між ними. Пресовані з'єднання можуть розташовуватися по логарифмічній спіралі або по якій-небудь іншій складнішій кривій. Таким чином існує різноманіття конфігурацій трубних грат. При цьому, подальший розвиток енергетики, хімічної, нафтохімічної і ряду інших галузей, де широко застосовуються теплообмінники, приводить до ускладнення конфігурації отворів трубних грат і до відходу від традиційного способу розташування отворів за прямолінійною схемою з постійним кроком.

При запресовці труб в них управління рухом електроду здійснюється оператором вручну при візуальному контролі підходу до патрона. Ручний режим управління приводить до низької точності виведення електроду в точки обробки; велике значення при цьому має кваліфікація оператора; відмічені недоліки збільшують тривалість обробки трубної дошки.

Крім того, в описаних вище САУ фіксувалося лише виконання кроку, а на момент підходу електроду до патрона і у разі випадання патронів з труб проходить розряд на трубні грати, при якому струми стікання значно збільшуються і можуть вивести з ладу електроустаткування, що знаходиться поблизу.

Таким чином, для подальшого вдосконалення САУ необхідно розробити методи управління режимом вибуху і рухом електроду при довільному малюнку трубної дошки. Рішення першої задачі вимагає дослідження чинників, що впливають на режим вибуху, : рішення другої – розробки методів формування програм і управління рухом електроду.

Аналіз шляхів рішення задачі

САУ ЭГУ повинна забезпечити управління режимом вибуху і рухом електроду. Ці два завдання є незалежними. Але для забезпечення правильного функціонування необхідно, щоб перехідні процеси в САУ режимом вибуху протікали швидше, ніж електрод переміщався б від патрона до патрона. Ця умова забезпечить задані параметри розряду до моменту підходу електроду до чергового патрона.

Зважаючи на специфічні особливості цього процесу таких як швидкоплинність (тривалість процесу не перевищує сотень мікросекунд), різка зміна параметрів (струм розряду змінюється від 0 до сотень кілоампер, напруга від десятків кіловольт до нуля) САУ, що використовуються в інших областях техніки, для регулювання режиму вибуху використовуватися не можуть. Отже, необхідно синтезувати такі САУ, що не мають аналогів в промисловості.

Що ж до рішення задачі управління рухом, то передусім проаналізуємо можливість її рішення за допомогою САУ відомих з інших областей техніки.

Використовуємі в промисловості системи програмного управління за способом управління виконавчим органом підрозділяються на [6-9]:

1) Системи програмного управління з отриманням програми шляхом розрахунку [7; 9]. Розрахунок може здійснюватися поза системою управління з наступним введенням результатів або пристроєм самої системи управління, що управляє.

2) Системи з програмованим методом навчання, програма обробки яких формується при одноразовому зразковому виконанні системою управління необхідних дій в процесі її ручного управління людиною-оператором [6; 8].

Проте, ці способи формування програми управління виконавчим органом неприйнятні для систем управління ЭГУ ЗТ. Спосіб формування програми розрахунковим шляхом неприйнятний, оскільки відсутня початкова інформація, потрібна для складання програм. Заздалегідь невідомі координати точок обробки і при переході до трубних грат із зміною «малюнка» траєкторія їх обходу електродом міняється.

Спосіб формування програми управління виконавчим органом методом навчання також неприйнятний в системах управління ЭГУ ЭТ. Це обумовлено тим, що электрогідроимпульсні технології використовуються переважно в дрібносерійному виробництві, і розташування пресованих з'єднань не залишається незмінним і в більшості випадків із зміною об'єкту обробки змінюється конфігурація отворів трубних грат. Внаслідок цього при переході до обробки наступного об'єкту програма управління рухом змінюватиметься, що вимагає оперативного її формування безпосередньо перед обробкою виробу.

Отже, для ЭГУ ЗТ потрібна розробка принципово нового методу оперативного формування програми управління виконавчим органом.

Найбільш прийнятним для формування програми управління виконавчим органом в установках для электрогідроімпульсної запресовки труб являються методи, засновані на використанні відеозображення об'єктів обробки.

В якості джерела інформації в цих методах використовується відеосигнал, який несе інформацію про окремі точки площі зображення. Інформація про точки передається в систему за допомогою відеокамери.

Переваги цих методів грунтуються на наступних обставинах:

– відеосигнал, що описує зображення – це електричний сигнал, який можна обробити впродовж короткого часу і оперативно отримати початкову інформацію про об'єкт, необхідну для формування програми;

– об'єкт обробки за допомогою відеозображення заданий в певному масштабі в растровій системі координат, положення полюса якої може бути легко визначене, що дає можливість автоматичного перерахунку координат точок обробки. При використанні відеозображення інформація про об'єкт може бути отримана безпосередньо перед обробкою і навіть в процесі обробки; ніяких попередніх вимірів не потрібно.

Отже, методи формування програми, засновані на використанні відеозображення, вимагають мінімального об'єму апріорної інформації і прийнятні для широкої номенклатури оброблюваних виробів, що не повторюється. У зв'язку з цим для формування програми управління виконавчим органом в ЭГУ для запресовки труб доцільно застосовувати вищезгадані методи.

Раніше автоматизовані методи здійснювалися або шляхом накладення на екран масштабної сітки і виміру оператором по зображенню координат точок обробки з наступним введенням їх за допомогою клавіатури в пристрій, що запам'ятовує, [10], або із застосуванням маркера або світлового пера [11-13].

Формування програми шляхом накладення на екран масштабної сітки виключає непродуктивні витрати часу, але не виключає суб'єктивний чинник при завданні програми, і, тому вимагає підвищеної уваги оператора і придатно тільки як проміжний етап при розробці системи програмного управління ЭГУ або як допоміжний варіант формування програми. Управління виконавчим органом за допомогою маркера або світлового пера прийнятніше. При використанні маркера на телевізійний растр із зображенням об'єкту обробки виводиться маркер (світлова мітка), який може переміщатися по екрану. Оператор за допомогою органів управління поєднує маркер із зображенням точки обробки і у момент їх збігу подає сигнал на запис в пристрій координат маркера, що відповідають координатам точок обробки, що запам'ятовує.

Якщо формування програми управління перенесенням виконавчого органу здійснюється із застосуванням світлового пера [11; 13], оператор за допомогою органів управління «обводить» світловим пером точки обробки на зображенні об'єкту, у момент поєднання світлового пера з точкою обробки подає сигнал на запис в пристрій їх координат, що запам'ятовує.

Обидва методи формування програми принципових відмінностей не мають. Переваги методу, заснованого на використанні маркера, полягає у вищій точності визначення координат точок обробки, методи, що реалізовують формування програми із застосуванням світлового пера, у свою чергу, мають вищу швидкодію.

При використанні автоматичних методів функція визначення координат об'єктів обробки покладається на автоматичний пристрій, який повинен виділяти у відеосигналі ділянки, що описують зображення об'єктів обробки, і визначати їх координати.

Можливість і доцільність застосування при формуванні програми автоматичних або автоматизованих методів визначається розташуванням точок обробки в просторі їх геометричними і оптичними характеристиками.

Автоматизовані методи формування програми знаходять широке застосування в технологіях із складною конфігурацією об'єктів обробки, автоматична обробка зображень яких складна. У електроімпульсних технологіях системи управління такого типу знаходять застосування в установках для очищення литва [2]. До недоліків автоматизованих методів формування програми слід віднести розподіл в часі процесів формування програми і обробки виробу і участь в процесі формування оператора, що збільшує тривалість обробки.

Якщо формування програми управління перенесенням виконавчого органу здійснюється із застосуванням світлового пера [11; 13], оператор за допомогою органів управління «обводить» світловим пером точки обробки на зображенні об'єкті, у момент поєднання світлового пера з точкою обробки подає сигнал на запис в пристрій їх координат, що запам'ятовує.

Виходячи з цих передумов автоматичні методи формування програми, доцільно застосовувати в електроімпульсних технологіях по запрессовці труб. Тут точками обробки є центри патронів, проекція яких на полі зору відеокамери – круг, виготовлені електровибухові патрони з білого поліетилену, зображення якого по рівню яскравості перевершують усі інші елементи зображення трубних грат. Це дозволяє із застосуванням методів обробки зображення вирішити завдання автоматичного визначення координат точок обробки і формування програми управління виконавчим органом в установках для электрогідроімпульсної запресовки труб.

Висновки

Для управління процесом обробки виробів в электрогідроімпульсних установках необхідно управляти переміщенням виконавчого органу при русі його від одного пресованого з'єднання до іншого і забезпечити задані параметри розряду у момент запресовки кожного з'єднання.

Система управління включатиме дві незалежні підсистеми управління – відповідно підсистеми управління режимом вибуху і рухом виконавчого органу.

Нині завдання управління режимом вибуху не розв'язана, а завдання управління рухом електроду вирішене лише у разі запресовки труб в грати з постійним кроком.

Визначення координат точок обробки і формування програми може бути реалізоване за допомогою методів автоматичної обробки відеозображень об'єктів. Для розробки цих методів необхідно досліджувати відеосигнал, що описує зображення об'єктів, і визначити ознаки: достатні для їх розпізнавання.

Для створення САУ режимом вибуху необхідно розробити систему управління напругою конденсаторних батарей.

Створення системи автоматичного управління дозволить автоматизувати процес запресовки труб з будь-яким способом розташування отворів під труби, підвищити точність виведення електроду в точки обробки і забезпечити необхідну якість пресових з'єднань. Це підвищить рівень автоматизації установок для электрогідроімпульсної запресовки труб і їх продуктивність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазуровский Б. Я. Электрогидроимпульсная запрессовка труб в трубных решетках теплообменных аппаратов. – Киев : Наук. думка, 1980. – 172 с.
2. Вовк И. Т. Управление электрогидроимпульсными процессами / И. Т. Вовк, В. Б. Друмирецкий, Е. В. Кривицкий, Л. В. Овчинникова. – Киев : Наук, думка, 1964. – 186 с.
3. А. с. по заявке к 3718377/24 от 26.03.84 с решением о выдаче а. с. от 13.10.86 г. (СССР) Устройство для управления электрогидроимпульсной установкой для запрессовки труб/ ПКБ электрогидравлики, г. Николаев, Авт. изобрет. Вовк И. Т. и др.
4. А. с. № 1297015 (СССР) Способ косвенного контроля качества соединений труб при их электрогидроимпульсной запрессовке/ ПКБ электрогидравлики, г. Николаев, Авт. изобрет. Вовк И. Т., Друмирецкий В. Б., Соболева М. Б., Школьников В. А. – Заявл., 16.01.85, р 3847119/24-24. Опубл. в Б. И., 1987 г., № 10.
5. Дорошенко П. А. Технология производства судовых парогенераторов и теплообменных аппаратов. – Л. : Судостроение, 1972. – 360 с.
6. Белянин П. Н. Промышленные роботы. – 1985. – II. : Машиностроение. – 311 с.
7. Манин Г. А. Способы подготовки программ и интерполяторы для контурных систем числового управления станками. – М. : Машиностроение, 1978. – 288 с.

Рецензенти: Казарєзов А. Я., д.т.н., професор;
Кондратенко Ю. П., д.т.н., професор

© Голобородько О. М.,
Аль-Суод Махмуд Мухаммад, 2010

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2010 р.