

**Н.С. НАЗАРОВА**, канд. техн. наук;

**Л.Е. ОВЧИННИКОВА**, канд. техн. наук; **Д.В. ВИННИЧЕНКО**;

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Проведено аналіз математичних моделей керування електроімпульсними установками для розрядноімпульсних технологій, узагальнено основні задачі керування ЕГУ для різних технологій, розроблено архітектуру інформаційно-керуючого комплексу для підвищення ефективності ЕГУ.

The analysis of mathematical models of electrical pulse installations (EPI) control for electrical discharge technologies is carried out, the basic tasks of control of EPI for various technologies are generalized, the architecture of a computer-controlling complex for increase of efficiency EPI is developed.

**Введение.** Объектом исследования являются автоматизированные системы управления электроимпульсными установками для разрядноимпульсных технологий.

Вопросы, рассмотренные в статье, посвящены научной проблеме управления процессами, которые происходят в электроразрядных высоковольтных электротехнических комплексах, с целью дальнейшей минимизации энергопотребления, повышения эффективности, стабильности и уменьшения влияния человеческого фактора на технологический процесс.

Инструментарий для технологий электроимпульсной обработки материалов и сопутствующих технологий содержит разные электротехнические комплексы, общей чертой которых являются использования высоких напряжений и больших разрядных токов. Их работа в импульсном режиме позволяет достичь необходимого технологического эффекта за счет высвобождения энергии высокой плотности, что позволяет получать новые свойства материалов и сред. Повышение эффективности работы электрооборудования по обеспечению заданных технологических режимов может быть достигнуто использованием оптимальных систем управления.

Отличия в составе электротехнических комплексов для разрядноимпульсных технологий разного назначения приводит к возникновению новых задач. Техническая, технологическая, экономическая и экологическая эффективность такого оборудования, которое закладывается на стадии его разработки, не всегда достигается совокупностью оптимальных показателей отдельных характеристик и требует решения многокритериальных оптимизационных задач. При изменении технологического режима необходимо разрабатывать новые электротехнические комплексы, которые способны обеспечить их оптимальность в соответствии с заданными критериями эффективности, стабильности и энергопотребления. Поэтому необходимо разработать

такую структуру САУ, которая позволит решать вопросы адаптации электрогидроимпульсных установок (ЭГУ) к различным технологическим задачам программными методами.

С другой стороны, пользователи разработанного электрооборудования, как правило, не имеют достаточной квалификации, чтобы на стадии обработки внести при необходимости коррективы в электрооборудование при изменении или усовершенствовании технологического процесса. Эти проблемы целесообразнее решать не аппаратными средствами, а программными методами.

**Цель работы:** Развитие теории систем управления электроимпульсными установками для разрядноимпульсных технологий разного технологического назначения с использованием элементов искусственного интеллекта, созданием специализированных информационно-управляющих комплексов.

**Задачи исследования:** Провести анализ математических моделей управления электроимпульсными установками для электроразрядных технологий, обобщить основные задачи управления ЭГУ для различных технологий, разработать архитектуру информационно-управляющего комплекса для повышения эффективности ЭГУ.

Функционирование ЭГУ сводится к выполнению ряда возможных технологических операций, последовательность которых составляет технологический процесс. При этом операции должны производиться в определенной последовательности, длительность их должна составлять установленное время и обеспечивать требуемые режимы обработки.

Система автоматического и автоматизированного управления ЭГУ является сложной иерархической системой, в которой можно выделить несколько уровней управления и несколько относительно автономных подсистем, работа которых должна быть согласована по времени, пространству и параметрам.

В самом общем случае ЭГУ включает: механизмы вспомогательных операций (МВО), обеспечивающие перемещения обрабатываемого изделия; генератор импульсных токов (ГИТ); зарядное устройство (ЗУ), которое должно обеспечить заряд накопителя в оптимальном режиме до заданного напряжения  $U$  за заданное время  $T$ ; устройства преобразования энергии (УПЭ), обеспечивающие передачу и преобразование энергии, запасенной в электрическом поле (НЭ); механизм перемещения электрода (МПЭ), обеспечивающий движение источника излучения (электрода); средства регулирования режима работы установки.

Генератор импульсов тока является основным узлом установки, который должен обеспечивать воспроизводство электрических разрядов и совместно с электродной системой (ЭС), помещенной в жидкость, является оборудованием для преобразования электрической энергии в энергию ударных волн по-

средством высоковольтного разряда.

В зависимости от конкретного технологического назначения (очистка, штамповка, запрессовка, интенсификация) ЭГУ имеют ряд особенностей, что определяет специфику решаемых в них задач.

В электрогидравлических установках с искровым разрядом, в частности, в ЭГУ для очистки отливок (рис. 1) технологический узел состоит из электродной системы (ЭС), помещенной в технологическую ванну (ТВ), заполненную жидкостью. Обрабатываемые изделия (ОИ) загружают на подвижный контейнер (ПК), который может перемещаться по горизонтальным направляющим, проложенным под емкостью, и опускаться в ТВ при помощи подъемной платформы (ПП), которая движется в вертикальных направляющих. ГИТ разрядным контуром (РК) через высоковольтный коммутатор (ВК) подключен к технологическому узлу установки (ГУ).

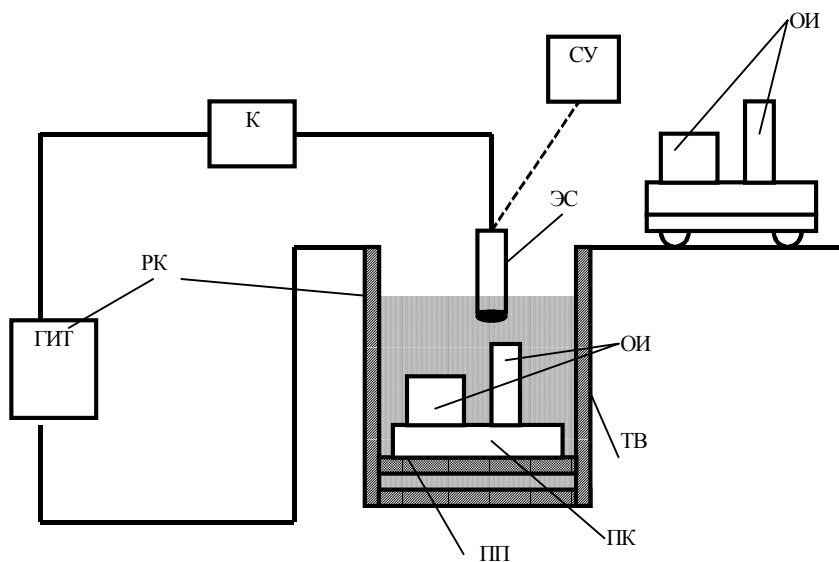


Рисунок 1 – Блок-схема установки для очистки литья

В ЭГУ периодического действия, используемых для очистки отливок сложной конфигурации, обработки сварных швов, в процессе обработки необходимо обеспечить движение рабочего электрода по заданной траектории, меняющейся от загрузки к загрузке в зависимости от конфигурации и расположения отливок. Кроме этого, необходимо обеспечить требуемый режим разряда, позволяющий получить оптимальный технологический эффект разрушения формовочных смесей при сохранении прочности отливок. Для этой цели в установках используют автоматический регулятор режима обработки.

Отметим, что режим разряда не оказывает влияния на движение элект-

трода, в то же время, движение электрода влияет на характеристики разрядов, поскольку вследствие его изменяется длина межэлектродного промежутка.

Таким образом математическая модель процесса обработки может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}dZ_p/dt &= \Phi_p(Z_p, Z_g, U_p, U_g); \\dZ_g/dt &= \Phi_g(Z_g, U_g),\end{aligned}$$

где  $Z_p, Z_g$  – векторы состояния и управления, соответственно режима разряда и движения электрода;  $U_p, U_g$  – вектора управления, соответственно режима разряда и движения электрода;  $\Phi_p, \Phi_g$  –  $n$ - и  $m$ -мерные вектор-функции.

Конвейерные установки для очистки литья являются узкоспециализированными и предназначены для очистки одной или нескольких однотипных отливок. Эти установки состоят из технологического узла, высоковольтного оборудования, транспортных устройств, приводов перемещения механизмов, системы управления. Для подачи отливки на позицию обработки используется пластинчатый подвесной или тележечный конвейер.

Очистка отливок является составной операцией производства литья, а сами установки по очистке – составной частью поточной линии производства. Поэтому цикл очистки должен быть жестко подчинен ритму общезаводского конвейера.

Весь цикл очистки состоит из последовательных операций, выполняемых механизмами установки, а управление заключается в подаче команд на последовательное включение и выключение механизмов, выполняющих операции. Выполнение операции по перемещению отливок контролируется с помощью конечных выключателей, а время обработки задается с помощью таймера. Для описания работы механизмов установки используются циклограммы или таблицы состояний датчиков и исполнительных механизмов. Таблицы состояний представляют собой два счетных множества с пронумерованными элементами, задающие пространство состояний и управлений [1].

В ЭГУ для штамповки (рис. 2) технологический узел состоит из технологической оснастки, разрядной камеры с электродом, в которой совершается работа деформации, системы водоснабжения, гидроагрегата, механизмов прижима и перемещения технологической оснастки. На рисунке показаны следующие элементы: разрядная камера (1), электрод (2), изолятор электрода (3), матрица (4), заготовка (5), разрядный промежуток (6) между электродом и заготовкой, коаксиальная линия (7) с внутренним (8) и внешним (9) проводниками, соединяющими соответственно электрод и заземленную разрядную камеру с обкладками конденсатора (10) через разрядник (11), конденсатор заряжается от зарядного устройства (12). В некоторых моделях ЭГУ этого типа имеется механизм перемещения электрода.

В ЭГУ по штамповке кроме вспомогательных операций, выполняемых в

соответствии с циклограммой в процессе работы необходимо изменять режим, что достигается программным регулированием напряжения срабатывания коммутатора.

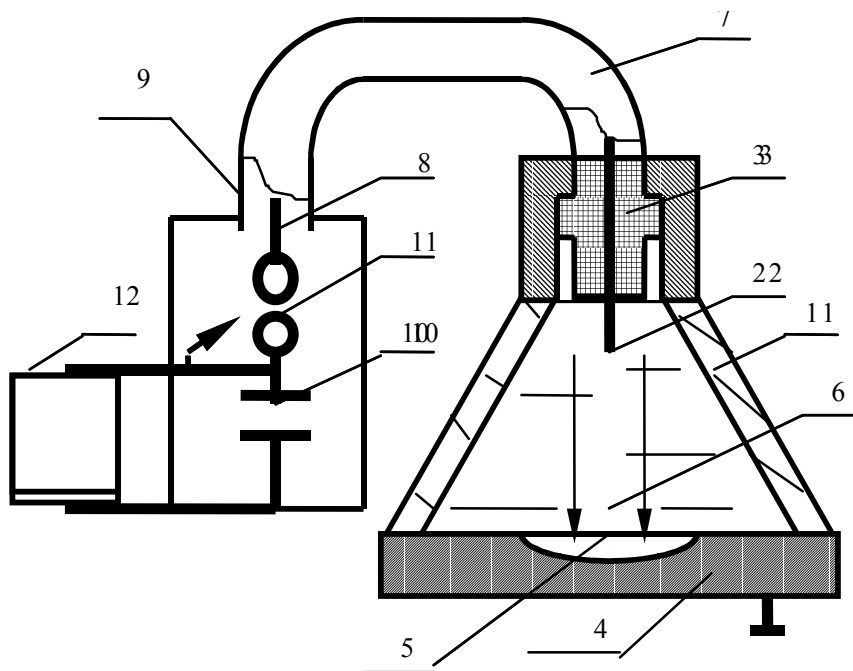


Рисунок 2 – Схема электроимпульсной обработки металла давлением

В ЭГУ, использующем взрыв проводника, в частности, ЭГУ для запрессовки труб, технологический узел (рис. 3) включает трубы с электровзрывными патронами (1), помещаемые в трубные решетки (2), и механизм подключения к ним накопителя, состоящий из электрода (3) и механизма его перемещения, который включает привод горизонтального перемещения электрода (4), перемещающий каретку (5) по горизонтальным направляющим (6) и привод вертикального перемещения (7), перемещающий электрод (3) вдоль вертикальной направляющей (8). К электроду (3) прикреплена телевизионная камера (9).

В ЭГУ по запрессовке труб в трубные решетки необходим подвод электрода к электровзрывным патронам, вставленным в трубки и коммутацию разрядника в момент подвода электрода к патрону, помещенному в трубу. При обработке теплообменника электрод должен последовательно обойти все отверстия трубной доски. На последовательность обхода оказывает влия-

ние схема расположения труб.

Математическая модель процесса запрессовки может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}dZ_p/dt &= \Phi_p(Z_p, U_p); \\dZ_g/dt &= \Phi_g(Z_g, U_g),\end{aligned}$$

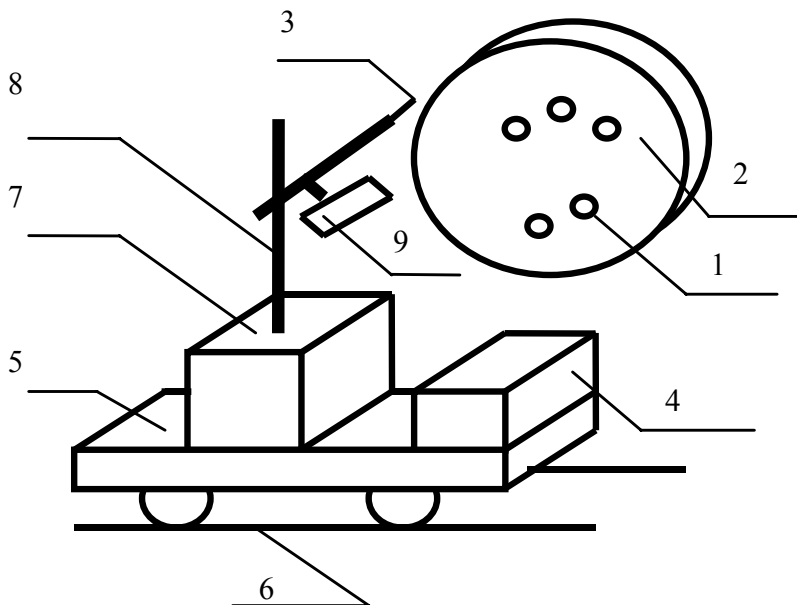


Рисунок 3 – Схема установки для ЭГ запрессовки

где  $Z_p$ ,  $Z_g$  – векторы состояния и управления, соответственно режима разряда и движения электрода;  $U_p$ ,  $U_g$  – вектора управления, соответственно режима разряда и движения электрода;  $\Phi_p$ ,  $\Phi_g$  –  $n$ - и  $m$ -мерные вектор-функции.

Следовательно, процессы управления движением электрода и процессом взрыва патрона не взаимосвязаны. Однако, к моменту подхода электрода к очередному патрону необходимо обеспечить заданные параметры разряда, определяемые напряжением накопителя, т.е. должно осуществляться терминальное управление. Для задания траектории движения электрода может использоваться телевизионное изображение объекта обработки.

Таким образом, задачу управления ЭГУ как сложной технической системы можно разделить на несколько задач.

Анализ организации технологических операций позволяет выделить следующие задачи управления для различного типа ЭГУ:

- для ЭГУ по очистке: а) управление вспомогательными операциями; б)

- управление зарядными процессами; в) управление движением рабочего органа; г) управление режимом обработки;
- для ЭГУ по штамповке: а) управление вспомогательными операциями; б) управление зарядными процессами; в) управление режимом обработки;
- для ЭГУ по запрессовке труб: а) управление вспомогательными операциями; б) управление зарядными процессами; в) управление движением рабочего органа; г) управление режимом обработки;
- для ЭГУ других назначений: а) управление вспомогательными операциями; б) управление зарядными процессами; в) управление движением рабочего органа (если это предусмотрено технологией обработки); г) управление режимом обработки.

Таким образом, на примере трех технологических процессов можно обобщить основные задачи управления ЭГУ для различных электроимпульсных технологий, что позволяет сформулировать принцип унификации автоматизированной системы управления. Им является создание многоуровневой человеко-машинной системы управления, в которой управление сложными технологическими процессами осуществляется с использованием автоматических информационных систем сбора данных и вычислительных комплексов, которые должны соответствовать современному уровню технических средств и программного обеспечения.

Минимальные требования к АСУ ЭГУ могут быть обеспечены двухуровневой информационно-управляющей системой (содержащей верхний и нижний уровни), так как это позволяет разделить задачи управления разных этапов, обеспечить их аппаратную и программную независимость и возможность дальнейшего развития системы за счет унификации интерфейсной части.

Специфика автоматизированной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно - аппаратной платформой.

Верхний уровень АСУ представляет собой управляющую ЭВМ с автоматизированным рабочим местом (АРМ) диспетчера/оператора. Здесь же может быть размещен сервер базы данных, рабочие места (компьютеры) для специалистов и т.д. Удобно в качестве управляющей ЭВМ использовать ПЭВМ типа IBM PC различных конфигураций.

Управляющая ЭВМ предназначена для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Для этих задач необходимо разработать специализированное программное обеспечение, ориентированное на обеспечение интерфейса между диспетчером и системой управления, а также коммуникацию с внешним миром.

Спектр функциональных возможностей управляющей ЭВМ определен задачами АСУ, рассмотренными выше, и может быть конкретизирован следующими пунктами:

- задание текущей технологической операции и ее начальных парамет-

- ров;
- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня; обработка первичной информации; регистрация исторических данных;
  - хранение информации с возможностью ее последующей обработки;
  - визуализация информации в виде мнемосхем, графиков и т.п.;
  - возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как «единое целое».

В связи со сложностью и многообразием подвидов технологических операций разработана основа базы данных и алгоритмов, в которой хранятся параметры и переменные текущего процесса.

Нижний уровень АСУ представляет собой совокупность автономных объектов с унифицированными интерфейсами. Каждый автономный объект представляет собой оптимальную систему автоматического регулирования, которая включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC – Programming Logical Controller). В качестве контроллеров в соответствии со сложностью программы автоматического управления, требуемой разрядностью интерфейсов и каналов связи, требований к скорости обработки информации, могут быть использованы микропроцессоры разной степени развитости архитектуры.

В качестве PLC в системах управления электроимпульсными установками были использованы микроконтроллеры фирмы ATMEL с ядром AVR. Критерием выбора является наилучшее, на сегодняшний день, соотношение показателей быстродействие/энергопотребление, удобные режимы программирования, доступность программно-аппаратных средств поддержки и широкая номенклатура выпускаемых кристаллов.

**Выводы:** На основании анализа математических моделей управления электроимпульсными установками для электроразрядных технологий обобщены основные задачи управления ЭГУ, что позволило разработать архитектуру информационно-управляющего комплекса, обеспечивающего повышение эффективности ЭГУ.

**Список литературы:** 1. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г.А.Гулый, П.П.Малюшевский, Е.В.Кривицкий и др. – М.: Машиностроение, 1977. –320 с.

*Поступила в редколлегию 13.10.2006*