

Компактные электродные системы импульсных электрогидравлических (ЭГ) установок

Н. В. Старков

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, e-mail: starkovnikolay@yahoo.com*

Выполнен анализ состояния и развития электродных систем в ЭГ установках промышленного назначения. К этим установкам сегодня предъявляются требования по увеличению мощности и высокой концентрации энергии при одновременном повышении надежности работы электродных систем. Необходимо создание компактных электродных систем, что представляет собой проблему, которую предлагается решать путем совершенствования как технологических процессов ЭГ обработки, так и самих электродных систем. Приводятся конкретные примеры практического решения этой проблемы.

Ключевые слова: импульс, установка, энергия, разряд, электрод, изолятор, камера, надежность.

УДК 621.7.044:669.71

Электродные системы ЭГ установок представляют собой устройства, которые работают на замыкающем участке разрядного контура, где происходит преобразование электрической энергии конденсаторной батареи в энергию плазменного канала разряда.

Дальнейшее преобразование этой энергии направлено чаще всего на получение в воде мощных ударных волн и гидравлического потока, которые как инструмент воздействуют на объект обработки. К таким процессам можно отнести деформирование металлов, разрушение неметаллических материалов, вибрационное воздействие на расплавы металлов и др. В этих процессах электродные системы выполняют главную роль в формировании ударных волн и гидравлического потока жидкости.

Существуют процессы, в которых требуется преобразовать энергию конденсаторной батареи в энергию низкотемпературной плазмы. В таких процессах канал разряда сам выступает в роли инструмента, а окружающая среда является для него объектом воздействия. Роль электродных систем в этих процессах отодвигается на второй план.

В настоящей статье рассматриваются электродные системы, предназначенные для работы в ограниченном пространстве, которое создается стенками разрядной камеры, заполненной жидкостью, и объектом обработки. Эти электродные системы отличаются компактностью исполнения и высокой концентрацией (свыше 10 Дж/см^3) выделяемой в разрядной камере энергии.

Для получения максимального эффекта преобразования энергии канала разряда в работу ударных волн и гидравлического потока объем пространства, в котором происходит разряд,

должен быть как можно меньшим. Малый объем разрядных камер предусматривает использование в них электродов небольших размеров, но способных передать в окружающую среду большую энергию. Этим объясняется необходимость создания компактных электродных систем, работающих при больших нагрузках.

При создании компактных электродных систем для условий лабораторного или экспериментального использования проблем, как правило, не возникает. Они появляются от них, когда требуется продолжительная и непрерывная работа в составе ЭГ установки.

В промышленных условиях продолжительность и непрерывность работы определяются, как правило, 8-часовой рабочей сменой, после можно остановить оборудование и заменить электроды. Учитывая возможности современных ЭГ установок накапливать за 1–2 с большую энергию (до 40 кДж), можно представить, в каких условиях должны работать компактные электродные системы. Это прежде всего высокая динамическая нагрузка на все детали электродов, воздействие на них электромагнитного и светового излучения, разрушающее воздействие кавитационных процессов, сопровождающих разряд в жидкости, высокая температура канала разряда, приводящая к электрической эрозии токопроводящих частей и термическому разрушению изоляторов, и др. Ко всему перечисленному нужно добавить цикличность таких воздействий, которая с учетом возможности ЭГ установок может составить до 30 тысяч нагружений за одну смену. Очевидно, что создание надежных электродных систем для таких условий работы сегодня еще невозможно. По этой причине запасаемая энергия промышленных установок с компактными

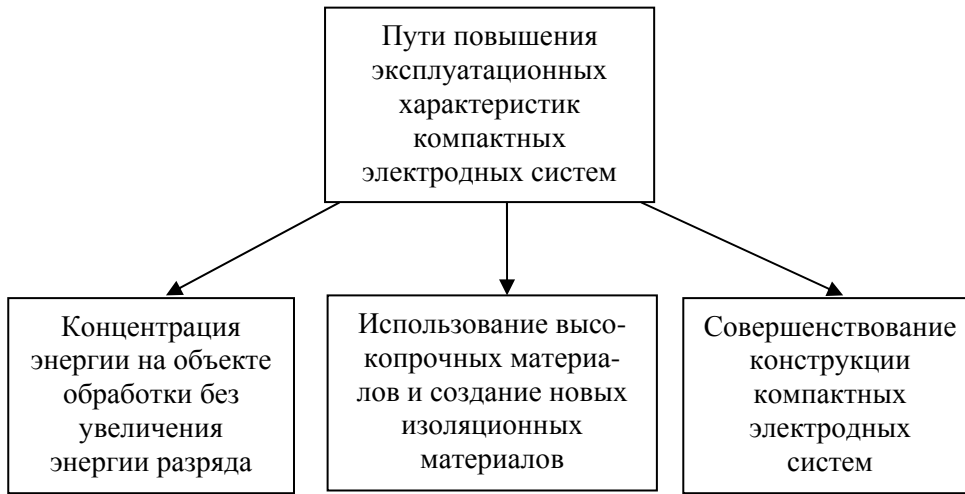


Рис. 1. Схема путей повышения эксплуатационных характеристик компактных электродных систем.

ми электродными системами пока не превышает 20 кДж.

Цель настоящей работы – проанализировать проблемные вопросы и показать возможные пути их решения при создании электродных систем промышленных ЭГ установок.

На рис. 1 представлена схема путей повышения эксплуатационных характеристик компактных электродных систем.

Первые опыты по созданию компактных электродных систем можно отнести к началу 70-х годов прошлого века. На рис. 2 изображена электродная система ЭГ прессы с запасаемой энергией 10 кДж, разработанного в Институте импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины (в то время – ПКБ Электрогидравлики) [1].

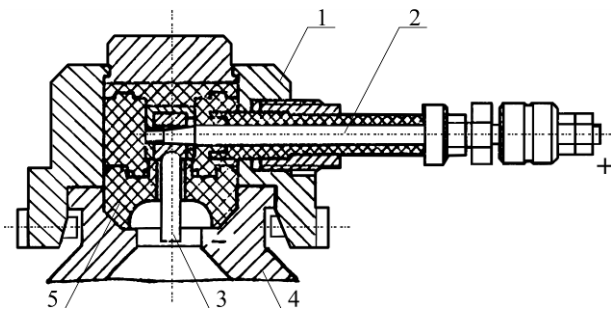


Рис. 2. Разрядная головка ЭГ прессы с коаксиальной электродной системой: 1 – корпус разрядной головки; 2 – токоведущий стержень; 3 – сменный электрод; 4 – разрядная камера; 5 – сборный изолятор.

Разработчики оборудования и таких электродных систем стремились повысить эффективность процесса штамповки за счет уменьшения объема разрядной камеры. Но, чтобы максимально ее уменьшить, потребовалось уменьшить напряжение разряда до 10 кВ и использовать электродные системы коаксиального типа. В разрядной камере была достигнута достаточно высокая на то время (до 20 Дж/см³) концентрация энергии, позволившая штамповать стальные детали размерами до 750 мм при относительно малых энергиях разряда.

В последующем коаксиальные электродные системы и камеры малого объема нашли свое развитие в конструкции многоэлектродных разрядных блоков (МРБ), предназначенных для ЭГ штамповки крупногабаритных тонколистовых деталей (рис. 3) [2].

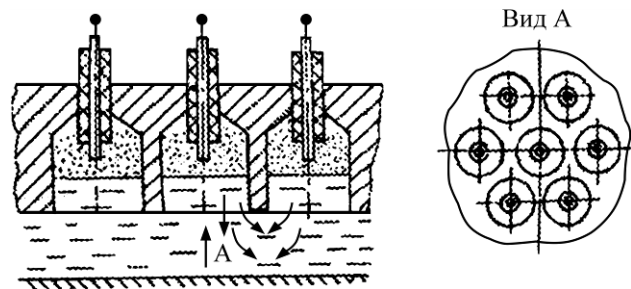


Рис. 3. Схема многоэлектродного разрядного блока.

Коаксиальные электродные системы десятки лет применялись в целом поколении разработанных в ИИПТ ЭГ прессов с запасаемой энергией 20–40 кДж и напряжением разряда 5–10 кВ (модели Т1223, Т1226, Т1226А, Т1226Б-10).

Промышленное использование электрического разряда в жидкости поставило перед разработчиками задачу повышения мощности ЭГ установок. Для осуществления таких процессов, как калибровка толстостенных оболочек, поверхностное упрочнение металлов, штамповка автомобильных кузовных деталей из высокопрочных сталей и др., требовалась большая концентрация энергии разряда. На практике уже существовали процессы, в ходе которых использовали в замкнутом или частично замкнутом объеме высоковольтный разряд в жидкости с высокой концентрацией энергии. Так, при ЭГ запрессовке труб в трубных решетках теплообменных аппаратов с применением электровзрывных патронов (ЭВП) [3] (рис. 4) концентрация энергии разряда достигала 6–7 кДж/см³, что уже вплотную приближало этот процесс к деформированию с использованием взрывчатых веществ (ВВ). Для сравнения, энергия взрыва наиболее популярного в промышленных технологиях ВВ-тринитро-

толуола с плотностью $1,6 \text{ г/см}^3$ составляет около 7 кДж/см^3 . Более высокая концентрация энергии характерна для процессов разрушения горных пород с использованием ЭГ эффекта, где она может достигать 10 кДж/см^3 .

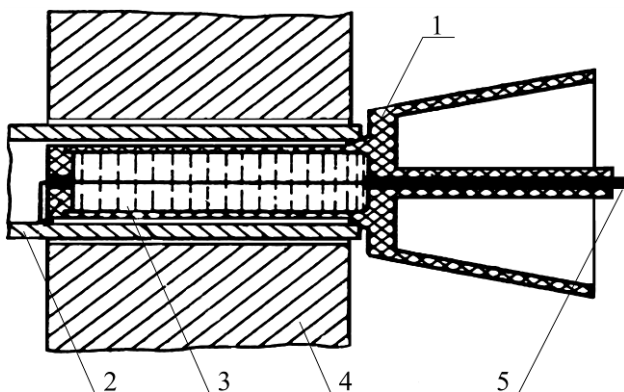


Рис. 4. Электровзрывной патрон: 1 – полиэтиленовый корпус; 2 – труба теплообменника; 3 – вода; 4 – трубная доска; 5 – взрывающийся проводник.

Эти сведения приведены для сравнения возможных условий работы электродных систем в ЭГ установках промышленного назначения.

Очевидно, что увеличение концентрации энергии только за счет уменьшения объема разрядной камеры при разрядном напряжении до 10 кВ не решало все вопросы в ЭГ технологиях. Преимущества таких электродных систем исчезали, как только энергия разряда достигла 25 кДж и более. Основной причиной этого являлся сам процесс разряда, который с увеличением энергии в импульсе при относительно низком разрядном напряжении становился все более растянутым во времени и менее динамичным. Это отражалось на эффективности процесса, которая при этом неуклонно снижалась.

Так, например, проведенное сравнение работы ЭГ прессы модели Т1226 Б в процессе штамповки конических днищ показало, что в одной и той же разрядной камере суммарные затраты энергии для получения одинаковой глубины вытяжки детали при напряжении разряда 50 кВ были в 2 раза меньшими, чем при 10 кВ . Это объясняется тем, что при более высоком напряжении разряда увеличивается длина пробиваемого межэлектродного промежутка и значительно большая часть энергии конденсаторной батареи может выделиться в разрядной камере. С увеличением разрядного напряжения и длины канала разряда коаксиальные разрядные устройства потеряли свои преимущества, так как не могли сохранить малый объем разрядных камер из-за увеличения размеров изоляторов электродов. Кроме того, при своей осевой симметрии они создавали несимметричный по отношению к объекту обработки искровой разряд, что при

увеличении энергии разряда для многих технологических процессов было неприемлемым.

Таким образом, коаксиальные электродные системы и низкое напряжение разряда не решили проблему создания мощных электрических разрядов с повышенной концентрацией энергии в разрядной камере. Как уже отмечалось, проблема эта заключается в обеспечении длительной и эффективной работы электродных систем в замкнутом пространстве разрядной камеры при больших энергиях разряда.

Эффективное преобразование большой энергии разряда в разрядной камере стало возможным благодаря использованию линейной системы электродов, в которой два электрода противостоят друг другу и расстояние между ними может изменяться в зависимости от параметров разряда [4, 5]. Увеличение рабочего напряжения разряда до 50 кВ позволило осуществлять искровые разряды длиной до 100 мм с высокой эффективностью. При незначительном увеличении объема разрядной камеры и использовании компактной линейной электродной системы энергия разряда повышается до 60 кДж .

Основным препятствием для создания надежных компактных электродных систем как коаксиального, так и линейного типа является низкий ресурс работы изоляторов электрода. Наиболее подходящим материалом для их изготовления принято считать полиэтилен, который отличается лучшим по отношению к другим полимерам набором свойств – от механической и диэлектрической прочности до стоимости изоляторов. Но, как любой изоляционный материал, он по механическим свойствам не может сравниться с металлами и другими прочными материалами, которые обрабатываются в ЭГ установках с применением компактных электродных систем.

Следует отметить, что самый лучший изоляционный материал или самая удачная конструкция изоляторов электродов не может сделать его работу безотказной. Циклические нагрузки в электродных системах разрушают высокопрочные металлы, не говоря уже о полимерах. Поэтому проблема создания надежных электродных систем требует комплексного решения с учетом всех обстоятельств проектирования и реализации технологического процесса.

Прежде всего нужно правильно оценить необходимую степень концентрации энергии в разрядной камере и решить, каким образом она может быть достигнута. Если пойти по пути уменьшения объема камеры и увеличения энергии разряда, то результат с высокой степенью вероятности окажется отрицательным и электроды не обеспечат нормальную работу ЭГ установки.

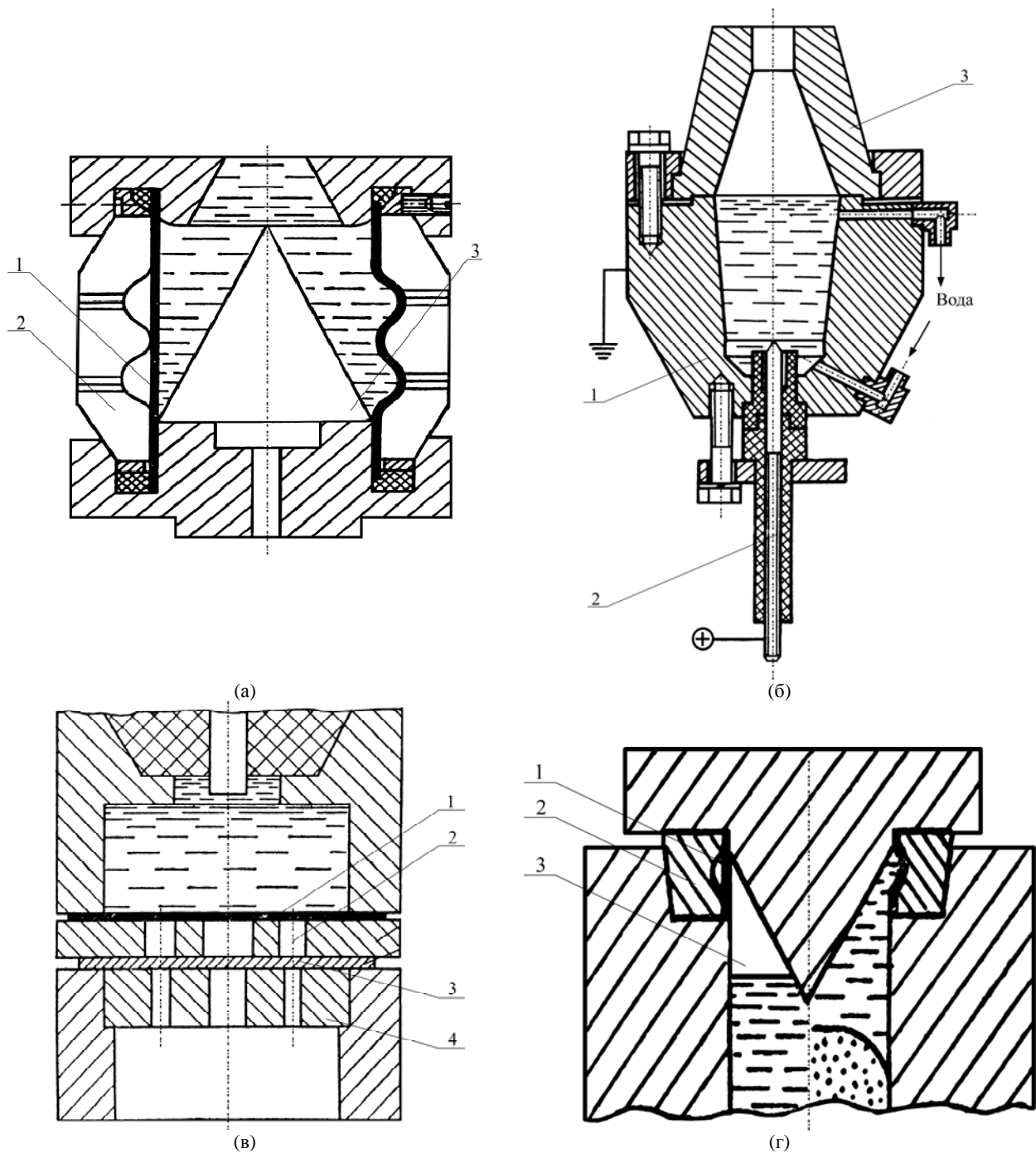


Рис. 5. Разрядные камеры с концентрацией энергии на объекте обработки: (а) – с использованием отражателя: 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – отражатель; (б) – с профилированием внутренней поверхности разрядной камеры: 1 – разрядная камера; 2 – электрод; 3 – профильный насадок; (в) – с метанием жидкости для пробивки отверстий: 1 – разрывающаяся мембрана; 2 – воздушная полость; 3 – заготовка; 4 – матрица; (г) – с метанием жидкости для формовки кольцевого бурта: 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – воздушная полость.

Концентрацию энергии целесообразнее создавать не во всем объеме разрядной камеры, а непосредственно на объекте обработки, и тогда возможности компактных электродных систем значительно расширяются. Достигается это разными путями, в том числе:

- с использованием специальных отражателей при раздаче трубчатых деталей (рис. 5а) [1];
- профилированием внутренней поверхности разрядной камеры для осуществления струйной ЭГ обработки (рис. 5б)[6];

– метанием жидкости для процессов пробивки отверстий и формовки деталей (рис. 5в,г) [1].

Возможны другие технические решения концентрации энергии на объекте обработки и их комбинации.

При создании компактных электродных систем и разработке изоляторов электродов требуется тщательно подходить к оценке напряженно-деформированного состояния каждой детали.

Очень часто при работе установки разные детали электрода, и прежде всего изоляторы (как

самые слабые звенья электрода), находятся в сложном напряженном состоянии. Более того, одна и та же деталь на разных участках может подвергаться одновременно сжатию, растяжению и изгибу. Это резко снижает ресурс работы такого изолятора. Необходимо путем разделения этого изолятора на несколько деталей привести каждую из них к условиям работы при более простых нагрузках. При этом следует помнить, что полимерные материалы, в частности полиэтилен, работают очень хорошо при всестороннем сжатии, хуже – при изгибе и плохо – при растяжении.

Такое разделение изолятора на отдельные детали позволяет изготавливать их из разных изоляционных материалов в зависимости от того, какую нагрузку этот материал выдерживает лучше.

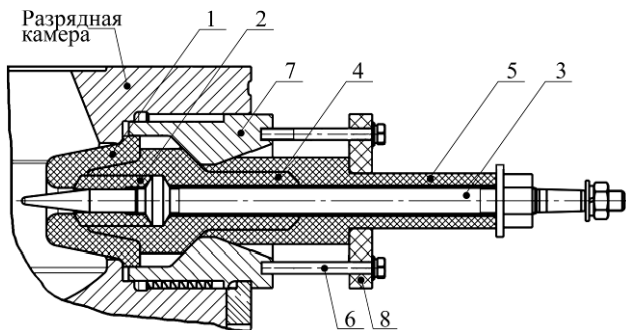


Рис. 6. Электрод компактной электродной системы с составным изолятором: 1 – изоляционный наконечник (полиэтилен); 2 – изоляционная вставка (полиэтилен); 3 – токоведущий стержень (сталь); 4 – внутренний изолятор (полиуретан); 5 – наружный изолятор (стеклотекстолит); 6 – стяжной болт; 7 – гайка крепления электрода; 8 – нажимной фланец (стеклотекстолит).

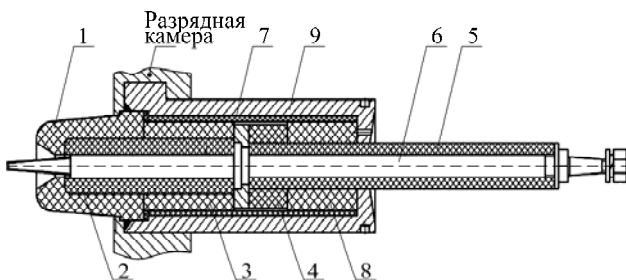


Рис. 7. Электрод с составным изолятором трубчатой формы: 1 – изоляционный наконечник; 2, 3 – внутренние изоляторы передние; 4 – амортизатор; 5 – наружный изолятор; 6 – токоведущий стержень; 7 – изоляционная оболочка; 8 – внутренний изолятор задний; 9 – корпус электрода.

На рис. 6 показан электрод компактной электродной системы, в которой используется составной изолятор, изготовленный из разных изоляционных материалов [7].

Одним из вариантов исполнения таких электродов может быть конструкция, изображенная на рис. 7, в которой внутренняя часть изолятора изготавливается из нескольких деталей, имеющих трубчатую форму [8].

Простая форма деталей позволяет работать электроду с большими динамическими нагрузками. Материал изоляторов можно подбирать по его свойствам и пригодности для работы с конкретной нагрузкой. При правильном выборе размеров трубчатых изоляторов для их изготовления возможно использование полимерных труб, выпускаемых промышленностью для различного назначения.

ВЫВОДЫ

Разработка компактных электродных систем ЭГ установок для больших энергий разряда – достаточно сложная техническая задача, которая должна решаться одновременно по нескольким направлениям. Создание новых высокопрочных полимерных материалов для их применения в специфических условиях работы ЭГ установок – длительный процесс, который, судя по достижениям в этой области, в ближайшее время не сможет удовлетворить потребность промышленности в таких материалах.

Для получения высокой концентрации энергии в замкнутом пространстве разрядных камер ЭГ установок необходимо использовать технологические схемы концентрации энергии разряда на объекте обработки, а не во всем объеме разрядной камеры.

Надежность и ресурс работы компактных электродных систем можно увеличить с помощью составных изоляторов электрода, детали которого работают при нагрузках, не вызывающих их ускоренного разрушения. Форма и материал этих деталей также могут увеличить ресурс их работы, а значит, повысить надежность всей ЭГ установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазуровский Б.Я., Сизёв А.Н. *Электрогидравлический эффект в листовой штамповке*. Киев: Наукова думка, 1983. С. 27, 112, 161, 165.
2. Тараненко М.Е. *Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы*. Харьков: ХАИ, 2011. С. 72.
3. *Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта*. Под ред. Г.А. Гулого. М.: Машиностроение, 1977. С. 166.
4. Golovashenko S.F., Gillard A.J., Mamutov A.V. Formability of Dual Phase Steels in Electrohydraulic Forming. *J Mater Process Tech.* 2013, **213**(7), 1191–1212.
5. Golovashenko S.F., Bessonov N.M., Ilinich A.M. Two-step Method of Forming Complex Shapes Sheet Metal. *J Mater Process Tech.* 2011, **211**(5), 875–885.
6. Мериин Б.В. *Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий*. Л.: Машиностроение, 1985. С. 42.

7. UA 82806 2013.08.13, Старков М.В. (UA), Стрелковська Л.І. (UA) *Електрод для імпульсних електрогідролічних установок.*
8. UA 91603 2010.08.10, Саєнко В.А (UA), Старков М.В. (UA) *Електрод для електрогідроімпульсних установок.*

Поступила 25.01.13

После доработки 07.10.13

Summary

The analysis of the state and development of electrode systems in industrial electrohydraulic (EH) plants is car-

ried out. These plants should meet the contemporary requirements of power increase and high concentration of energy while simultaneously increasing the electrode system operation reliability. Fabrication of compact electrode systems is necessary but challenging this problem is proposed to be solved by improving both technological processes of EH treatment and electrode systems. Certain examples of practical solutions of this problem are outlined.

Keywords: pulse, installation, energy, discharge, electrode, insulator chamber, durability.