

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

*Канд. техн. наук, доц. СИНЬКЕВИЧ Ю. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

В настоящее время в мире наблюдается комплексное срастание результатов научно-технического прогресса и художественного образа объектов и систем в рамках системы «человек – машина – человек». Технологические процессы становятся более многооперационными наряду с уменьшением занимаемых объемов и площадей. При разработке сложных технологических систем возникает необходимость решения ряда задач, не входящих в компетенцию конструктора, технолога, электронщика и т. д., т. е. круга создателей, не изучающих вопросы дизайна, психофизиологии, эргономики, функциональной окраски и психофизиологического восприятия цветовой гаммы [1, 2]. Учет перечисленных факторов обеспечивает не только физиологический комфорт и моральный климат у оператора при контакте с машиной, но и повышает его профессиональный уровень, создает предпосылки для эстетического восприятия производственной среды. Гуманная направленность формообразующих элементов в дизайне приближает сложные технологические системы к гармоничному ряду.

Получившая широкое промышленное применение технология электроимпульсного полирования (ЭИП) основана на использовании физикоэлектрохимических процессов, протекающих в парогазовой оболочке, отделяющей обрабатываемую поверхность заготовки от электролита [3]. Технология ЭИП характеризуется малой стадийностью, стабильностью и универсальностью. Опыт внедрения на ряде предприятий в нашей стране и за рубежом позволяет рекомендовать ее для высококачественного полирования сложнопрофильных поверхностей: подготовки поверхности перед нанесением гальванических и вакуумно-плазменных покрытий; удаления заусенцев с одновре-

менным притуплением острых кромок; очистки поверхности от минеральных и органических загрязнений. Полированные поверхности имеют низкую шероховатость ( $Ra = 0,3–0,04$  мкм) и высокую отражательную способность. Технология ЭИП также позволяет получать на изделиях матовую поверхность. В качестве электролита применяются нетоксичные водные растворы солей.

Замена традиционных методов финишной обработки поверхности на ЭИП позволяет снизить трудоемкость операций полирования и удаления загрязнений в 1,5–12 раз, удаления заусенцев – в 4–25 раз. В большинстве случаев применение ЭИП позволяет значительно повысить производительность обработки, качество деталей и изделий, стабильность получаемых результатов и полностью устранить ручной труд, заменить который другими методами прежде не удавалось.

С 1988 г. для промышленного использования технологии ЭИП разработан и изготавливается ряд специализированных полуавтоматических установок и автоматических линий (рис. 1). Установки отличаются между собой специализацией, степенью автоматизации технологического процесса, компоновкой и производительностью. В общем случае в состав установки ЭИП входят ванна и источник технологического тока с системой управления. Ванны имеют рабочий объем 0,05–1 м<sup>3</sup>, необходимые приводы и системы, обеспечивающие выполнение технологического процесса.

Характерный для большинства производств недетерминированный многономенклатурный входной поток заготовок на финишную обработку определяет проблему автоматического функционирования установок ЭИП. Анализ известных конструкций установок ЭИП,

например [4–8], позволил выявить у них ряд недостатков. Несущие элементы конструкции выполняют исключительно функцию крепежа деталей и узлов установок.

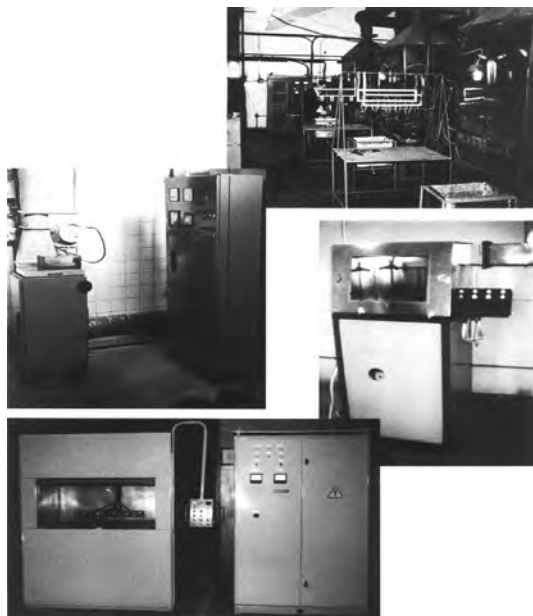


Рис. 1. Установки ЭИП

Варианты обслуживания рабочей зоны и механизмов установок не учитывают эргономические особенности человека, вызывая у него в процессе работы повышенную утомляемость. Сочетание и пропорции элементов обшивки несут исключительно защитные функции и не учитывают возможности снижения эмоциональной нагрузки от внешнего вида оборудования. Цветовые решения несут чисто эстетический аспект, не снижая нагрузки от визуального восприятия больших объемов составляющих элементов конструкции установок.

Анализ известных конструкций в сочетании с разработанным алгоритмом работы на этапе разработки дизайн-проекта установок ЭИП серии «ЭПОЛ-6Н» позволил сформулировать и решить следующие основные задачи:

- создать цельный художественно-конструкторский образ установок;
- обеспечить максимально удобный доступ оператора к рабочей зоне и узлам установки, исходя из эргономических возможностей человека;
- снять эмоциональную нагрузку от визуального восприятия больших объемов, составляющих общую композицию;

- создать цветофункциональный комфорт, обусловленный цветовым климатом, психологической нагрузкой и режимом работы установки;

- определить тенденции развития формообразования систем подобного технологического направления в рамках системы «человек – машина – человек».

Простота, многоплановость и быстрота выполнения компьютерного моделирования, возможность гибкого изменения разрабатываемых моделей, их наглядность делают такое моделирование предпочтительным в сравнении с традиционными способами проектирования. Современное программное обеспечение позволяет разрабатывать и создавать пространственные модели объектов неограниченной сложности, осуществлять их прогнозирование в предполагаемый период эксплуатации. В зависимости от задач разработчика могут быть определены, смоделированы и оптимизированы наиболее ослабленные элементы конструкции и в кратчайший период времени внесены соответствующие изменения. Возможность получения наглядного изображения создаваемого на компьютере объекта позволяет заранее устранить конструктивные недостатки конструкции, провести расчет различных технических характеристик объекта и технологических параметров его изготовления.

Предварительная компоновка элементов конструкции базовой модели установки ЭИП серии «ЭПОЛ-6Н» позволила остановиться на варианте блочного каркасного решения. Были выбраны материалы и комплектующие, соответствующие техническому заданию на проектирование установки. Рассчитанные нагрузки в рабочем режиме определили сечение элементов конструкции и частоту опорно-соединительных элементов. В результате разработана схема «скелета» установки, которая явилась фундаментом формообразования в целом и создала единое стилевое решение формы.

Важный аспект эргономического проектирования – рациональная организация рабочего пространства [9]. При определении зоны активного и пассивного действия оператора установки ЭИП авторы проекта исходили из необходимости создания для него оптимального комфорта при работе на установке. Для этого

необходимо было выделить поле видимости, в котором оператор получит максимальное количество информации, проанализирует ее и примет правильное решение. Разработанная компоновка приборов управления в сочетании с обслуживаемыми элементами рабочей зоны и с учетом среднестатистических данных антропологии человека (европеец 20–45 лет, мужчина) позволила максимально уменьшить количество и частоту перемещений оператора в процессе работы установки (рис. 2).

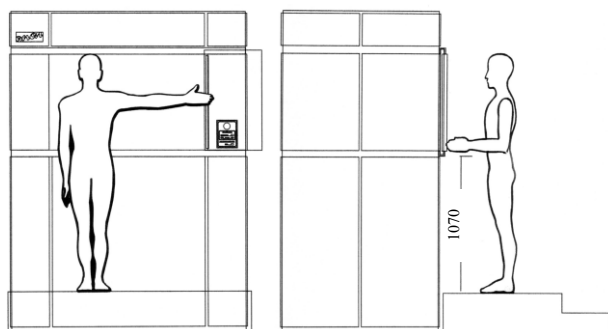


Рис. 2. Эргономические зоны доступа оператора

С учетом достаточно массивного образования объема рабочей зоны была поставлена задача по снижению визуальной нагрузки от больших объемов, и решалась она за счет выбора пропорций панелей обшивки, их толщины, соразмерности габаритов и количества элементов на всех плоскостях установки. Расшивка панелей зрительно подчеркнула устойчивость и целостность композиции, чистоту внешнего вида и простоту восприятия. Единый мотив формообразования – пропорциональное деление трех объемов установки – создает образ цельного, законченного изделия (рис. 3).

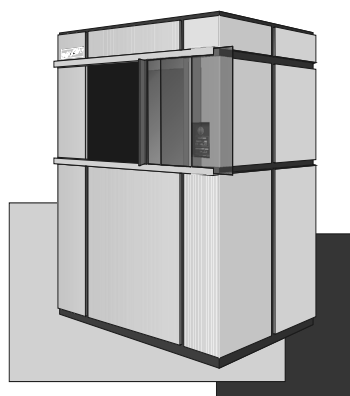


Рис. 3. Перспектива установки «ЭПОЛ-6Н»

Выбор оптимальной цветовой среды не случаен, в нем проявляется ряд объективных закономерностей [10]. Учитывая реализуемую в установках ЭИП серии «ЭПОЛ-6Н» высокую степень автоматизации технологического процесса, зрительная функция оператора больше направлена на восприятие внешней цветовой гаммы, чем на визуальный контроль происходящих процессов. Применение на фасадных плоскостях установки сочетания светло-желтой и темно-коричневой гаммы является одним из примеров направленной организации внимания. Сочетание этих цветов дает интересный оптический эффект. Цвета, расположенные рядом на цветовом круге, дополняют друг друга, не создавая отвлекающего контраста для оператора. Легкая тональность желтого цвета визуально снимает весовую нагрузку больших объемов, а темный тон каркаса определяет устойчивую фундаментальность всей композиции.

Цветовой нюанс композиции – окраска направляющих и ручки-планки окна рабочей зоны. Эти элементы конструкции, а также пульт оператора являются местом наиболее частого контакта оператора с установкой. Следовательно, напрашивается диаметрально противоположное решение в цветовой гамме этих элементов. В данном случае это светло-голубой цвет. Контраст светло-желтого и голубого цветов более конкретно обозначит место приложения усилий оператора при работе установки.

«ЭПОЛ-6Н» – первая серия установок ЭИП, которая в ходе проектирования органично впитала в себя продукт дизайн-программы в создании образа. Это позволило заложить основы фирменного стиля композиции элементов художественно-конструкторского образа и единого цветофактурного решения. Повышение эстетического уровня разработки авторами проекта рассматривалось как неотъемлемая часть комплекса задач, направленных на повышение уровня потребительских свойств и конкурентоспособности данной группы технологического оборудования.

Конструкторская документация разрабатывалась с помощью программного пакета Pro/

ENGINEER. Технологичность конструкции установки анализировалась путем 3D-моделирования. Оптимизация по прочности конструкции ванны и каркаса установки ЭИП была осуществлена методом конечных элементов путем компьютерного моделирования с помощью программного пакета ANSYS.

В результате комплексного подхода к разработке технологического оборудования для ЭИП спроектированы две установки серии «ЭПОЛ-6Н» – «ЭПОЛ-6Н-200» и «ЭПОЛ-6Н-500». Внешний вид установки «ЭПОЛ-6Н-500» приведен на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид установки «ЭПОЛ-6Н-500»

В состав установок «ЭПОЛ-6Н-200» и «ЭПОЛ-6Н-500» входят установка ЭИП и источник технологического тока. Установки могут комплектоваться источниками технологического тока мощностью 63; 72; 100; 160 и 250 кВт. Основные технические характеристики установок «ЭПОЛ-6Н-200» и «ЭПОЛ-6Н-500» приведены в табл. 1.

Отличительной особенностью установки «ЭПОЛ-6Н-500» является то, что для удобства транспортировки и монтажа она конструктивно выполнена в виде двух секций – нижней и верхней. В нижней секции расположены ванна, а также системы для автоматического барботирования и поддержания заданных температуры и уровня электролита. Нагрев электролита осуществляется электрическими нагревателями, расположенными в ванне, с системой защиты от электрических утечек и поражения током.

В верхней секции размещены блок управления установкой, пульт оператора, привод кронштейна подвески, выполненный на базе шариковинтовой пары и шариковой каретки фирмы STAR, прозрачный защитный экран с шаговым приводом и система принудительной вентиляции. Система управления установкой построена на базе микропроцессорной техники фирмы SIMENS и включает в себя пульт оператора с панелью оператора OP-7, центральный процессор серии S7-200, модули аналогового ввода-вывода, дискретного вывода, преобразователь частоты и блок питания. Отличительной особенностью системы управления приводом кронштейна подвески является применение преобразователя частоты переменного тока, позволяющего осуществлять «плавное» включение-выключение двигателя привода кронштейна подвески и программировать регулирование его скорости. Это решение значительно снижает вероятность падения заготовок при их погружении в ванну и извлечении из нее, а также позволяет реализовать адаптивное управление процессом полирования крупногабаритных заготовок.

Таблица 1

Технические характеристики установок ЭИП

Характеристика	«ЭПОЛ-6Н-200»	«ЭПОЛ-6Н-500»
Тип установки	Полуавтоматическая	Полуавтоматическая
Мощность источника технологического тока, кВт, не более	160	250
Производительность при длительности цикла обработки 6 мин, м <sup>2</sup> /ч, не более	2,28	3,57
Площадь обрабатываемой поверхности, м <sup>2</sup> , не более	0,23	0,36
Время нагрева электролита, ч, не более	1,0	1,0
Вес подвески, кг, не более	20	20
Рабочий объем ванны, м <sup>3</sup>	0,23	0,45
Габаритные размеры установки, Ш×Г×В, мм	1644×796× ×1910	2140×1205× ×2550

Управление электрооборудованием установки осуществляется с помощью блока управления и пульта оператора, выполняющих испол-

нение команд и контроль параметров технологического процесса ЭИП. Система управления обеспечивает следующие основные функции:

- задание и регулирование температуры электролита в ванне по ПИД-закону;
- задание и контроль времени полирования;
- задание и контроль времени барботирования;
- контроль напряжения на подвеске;
- контроль тока на подвеске;
- контроль и регулирование уровня электролита;
- контроль наработки электролита;
- контроль давления охлаждающей жидкости;
- контроль работы вентиляции;
- контроль и диагностику аварийных ситуаций;
- контроль и управление приводом защитного экрана;
- контроль и управление приводом кронштейна подвески;
- контроль и управление приводом заслонки охлаждения электролита.

Пульт управления обеспечивает обмен информацией между центральным процессором и панелью оператора, отображая ее на экране дисплея панели оператора, а также осуществляет диалог между оператором и установкой. На экран дисплея можно вывести четыре окна: «Ввод параметров», «Автомат», «Наладка» и «Выключение». Программирование панели оператора выполнено с помощью программного пакета Pro Tool Pro CS.

Центральный процессор принимает сигналы от датчиков исходного положения исполнительных механизмов и формирует сигналы для их управления, измеряет и регулирует температуру и уровень электролита в ванне, измеряет рабочее напряжение и электрический ток в силовой цепи, а также осуществляет обмен информацией с панелью оператора. Центральный процессор обеспечивает работу установки в трех режимах: автоматическом, наладки и автоматическом выключения установки ЭИП. Программирование центрального процессора выполнено с помощью программного пакета V3.1 STEP-7 Micro WIN SP 1.

Программные средства системы управления хранятся в энергонезависимых постоянных запоминающих устройствах. Система позволяет

иметь набор управляющих программ, легко заменяемый с помощью компьютера.

## ВЫВОД

Комплексный подход к разработке технологического оборудования для ЭИП, а также эффективная концепция автоматизации и «ноу-хау» позволили создать и успешно внедрить в Российской Федерации современное высокоэффективное конкурентоспособное технологическое оборудование для ЭИП высокотехнологичных изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Переверзев, Л. Б.** Системные тенденции промышленных установок в зарубежном дизайне / Л. Б. Переверзев. – М.: ВНИИТЭ, 1998. – 118 с.
2. **Пономарева, Е. С.** Цвет в интерьере / Е. С. Пономарева. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 167 с.
3. **Метод электроимпульсного полирования металлов** / Е. Я. Головкина [и др.] // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр. – 1988. – Вып. 13. – С. 40–43.
4. **Установка электроимпульсного полирования** / Е. К. Малов [и др.] // Информ. листок № 89–208. – Минск: БелНИИТИ Госплана БССР, 1989. – 4 с.
5. **Автоматическая линия ЭИП-1АЛ** / В. М. Кацнельсон [и др.] // Информ. листок № 89–244. – Минск: БелНИИТИ Госплана БССР, 1989. – 4 с.
6. **Установка для электролитно-плазменной обработки:** а. с. 1715892 СССР, МКИ<sup>5</sup> С 25 F 7/00 / В. К. Станисhevский, А. Э. Паршутто, С. А. Барташевич, А. А. Кособуцкий, А. В. Бубич, Л. Г. Липский, Н. Н. Вербило; заявитель и патентообладатель Бел. политехн. ин-т. – № 4803846/02; заявл. 01.02.90; опубл. 29.02.92.
7. **Устройство для электроимпульсного полирования изделий:** пат. 2093615 РФ, МПК<sup>6</sup> С 25 F 7/00, 3/00 / А. В. Сатонин, В. А. Алферов, А. И. Вольхин, И. Д. Плеханов, С. В. Дайбов; заявитель и патентообладатель АО закрыт. типа Кыштымский медеэлектролитный завод. – № 95111026/02; заявл. 27.06.95; опубл. 20.10.97.
8. **Устройство для электролитно-плазменной обработки изделий сложной формы:** пат. 2482 Респ. Беларусь, МПК<sup>6</sup> С 25 F 7/00, С 25 F 3/16 / А. А. Кособуцкий, А. А. Савицкий, В. А. Есепкин; заявитель и патентообладатель Бел. гос. политехн. акад. – № 950967; заявл. 07.12.95; опубл. 30.12.98.
9. **Коняев, Н. М.** Что такое эргономика? / Н. М. Коняев, В. А. Лебедев. – Минск: Вышэйш. шк., 1986. – 124 с.
10. **Зернов, В. А.** Цветоведение / В. А. Зернов. – М.: Советский художник, 1972. – 126 с.

Поступила 07.07.2009