

УДК 621.396.6.002:621.791.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Нестерович Е.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ эффективности цифровой паяльной станции с микроконтроллерным управлением и традиционного электрического паяльника. Рассматриваются особенности конструкции, точность поддержания температуры и эксплуатационные характеристики устройств. Показано преимущество цифровых систем регулирования в обеспечении качества пайки и надежности электронных компонентов.

Ключевые слова: паяльная станция, паяльник, микроконтроллер.

Введение. Пайка является одним из наиболее распространенных и критически важных технологических процессов в производстве радиоэлектронных средств (РЭС). От качества выполнения паяных соединений напрямую зависят надежность, долговечность и безотказность работы электронных устройств, поскольку именно паяные соединения представляют собой наиболее уязвимый элемент конструкции с точки зрения возникновения отказов в процессе эксплуатации [1, с. 154]. В условиях постоянного усложнения РЭС, миниатюризации компонентов и ужесточения требований к надежности проблема обеспечения высокого качества пайки приобретает особую актуальность.

В современной практике монтажа и ремонта электронной аппаратуры используются два основных типа инструментов для выполнения паяных соединений. Первый тип – традиционный электрический паяльник (рисунок 1), представляющий собой нагревательный элемент, размещенный в металлическом корпусе, с медным жалом, передающим тепло в зону пайки. Мощность такого инструмента фиксирована, температура жала определяется балансом между подводимой тепловой мощностью и теплоотводом в окружающую среду и соединяемые детали [2, с. 26].



Рисунок 1 – Внешний вид традиционного паяльника

Второй тип – цифровая паяльная станция (рисунок 2), включающая в себя блок управления с микроконтроллером, источник питания и паяльник с датчиком температуры.

Микроконтроллер непрерывно отслеживает температуру жала и регулирует мощность нагрева для поддержания заданного значения с точностью до $\pm 5-10$ °C [3, с. 44].



Рисунок 2 – Пример внешнего вида паяльной станции

Несмотря на очевидные функциональные преимущества паяльных станций (стабилизация температуры, возможность работы с различными типами компонентов, дополнительные сервисные функции), традиционные электрические паяльники остаются наиболее распространенным инструментом благодаря низкой стоимости, простоте конструкции и неприхотливости в эксплуатации [3, с. 27]. При этом в научно-технической литературе практически отсутствуют систематические исследования, посвященные количественному сравнению эффективности данных типов инструментов с точки зрения качества формируемых паяных соединений, производительности труда и надежности конечного изделия. Большинство публикаций сосредоточено на исследовании свойств припоев [4; 5; 7], вопросах усталостной прочности паяных соединений [7] или тепловых характеристиках отдельных элементов паяльного оборудования [2].

Отсутствие систематизированных данных о сравнительной эффективности цифровой паяльной станции и традиционного электрического паяльника создает проблему обоснованного выбора инструмента при организации производства или оснащении ремонтной мастерской, а также затрудняет оптимизацию технологических режимов пайки для каждого типа оборудования.

Целью исследований является экспериментальное сравнение эффективности цифровой паяльной станции и электрического паяльника при монтаже радиоэлектронных устройств на основе количественной оценки качества формируемых паяных соединений и анализа дефектности.

Основная часть. Традиционный электрический паяльник представляет собой простое устройство с нагревательным элементом мощностью 25-60 Вт и, чаще всего, медным жалом с покрытием. Температура жала формируется напрямую мощностью и теплоотдачей, поэтому при работе с массивными элементами она может снижаться на 40-60°C, а при длительном нагреве превышать 400-450°C, что существенно влияет на качество пайки и срок службы компонентов. Время выхода на рабочую температуру составляет 120-300 секунд, а точность поддержания режима ограничена ± 50 °C (см. рисунок 1).

Из-за отсутствия системы обратной связи увеличивается риск перегрева или недостаточного прогрева спаиваемого места, особенно при работе с чувствительными

элементами SMD. Средний ресурс жала при активной эксплуатации составляет 1-2 года, после чего появляются механические повреждения или накопление окислов, снижающих эффективность пайки.

Цифровая паяльная станция (см. рисунок 2) решает эти проблемы за счет интеграции термодатчика/термопары и микроконтроллера, управляющего мощностью нагрева через широтно-импульсную модуляцию. В современных моделях мощность жала составляет 50-80 Вт, диапазон регулирования температуры – 200-480°C, а точность поддержания заданного значения достигает $\pm 2^\circ\text{C}$. Время выхода на рабочую температуру составляет всего 15-30 секунд, что ускоряет рабочий процесс и снижает тепловые потери. Система обратной связи мгновенно реагирует на изменение нагрузки, предотвращая перегрев жала и электронных компонентов. Кроме того, в современных паяльных станциях стоит автоматическая защита, которая ограничивает максимальную температуру и отключает питание при превышении 480°C, что повышает безопасность работы.

Чаще всего в паяльных станциях используются никелированные жала, которые в отличие от медных окисляются гораздо меньше, комфорт их использования гораздо выше, а срок службы может достигать от 3 до 5 лет. Также в паяльных станциях не редко используются дополнительные выходы для работы с внешними устройствами, такими как паяльный фен или нагревательный стол для более эффективной работы с SMD компонентами.

Для наглядности представим сравнение изделий в таблице 1:

Таблица 1 – Сравнение характеристик паяльных инструментов

Параметр	Традиционный паяльник	Цифровая паяльная станция
Мощность	25-60 Вт	50-80 Вт
Диапазон температур	200-450°C	200-480°C
Точность поддержания температуры	$\pm 50^\circ\text{C}$	$\pm 2^\circ\text{C}$
Время выхода на рабочую температуру	120-300 сек	15-30 сек
Наличие защиты от перегрева	Нет	Есть, отключение при превышении 480°C
Контроль температуры	Нет	Автоматический, с обратной связью
Ресурс жала	1-2 года при активной эксплуатации	3-5 лет при активной эксплуатации
Тип жала	Медное/ медное с покрытием	Никелированное
Дополнительный функционал	Нет	Фен, нагревающийся стол

Таким образом, цифровая паяльная станция обладает преимуществами в точности поддержания температуры, скорости выхода на режим, долговечности и безопасности, тогда как традиционный паяльник остается более простым решением для нерегулярной или бытовой пайки.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что цифровая паяльная станция существенно превосходит традиционный паяльник по точности поддержания температуры, времени выхода на рабочий режим, долговечности и функциональности. Традиционный паяльник целесообразно использовать для простых монтажных и бытовых работ, тогда как цифровая станция необходима при работе с компонентами, чувствительными к температурным колебаниям.

Использование микроконтроллерного управления повышает качество пайки, снижает риск повреждения компонентов и улучшает условия работы пользователя.

Цифровые паяльные станции являются более перспективным направлением развития паяльного оборудования и широко применяются как в профессиональной, так и в учебной деятельности.

1. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.
2. Московкина, Е. Паяльник или паяльная станция: сложности выбора / Е. Московкина // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – Т. 6. – № 82. – С. 44–45.
3. Новоселов, В. Электрический паяльник инженера Сакса. История и современность / В. Новоселов // Компьютерные технологии. – 2000. – № 3. – С. 82–85.
4. Ланин, В.Л. Модификация паяльных паст углеродными наночастицами / В.Л. Ланин, А.В. Слижёва, Д.Ю. Ковалёв // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : электронный сборник статей II Международной научно-практической конференции, Новополюк, 14 ноября 2024 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополюк, 2025. – С. 140–145.
5. Ковалёв, Д.Ю. Упрочнение паяных соединений в электронных модулях / Д.Ю. Ковалёв, А.В. Слижёва, В.Л. Ланин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : 21-я Международная молодёжная научно-техническая конференция : сборник научных трудов, Севастополь, 6–10 октября 2025 г. / Севастопольский государственный университет. – Москва-Севастополь : РНТОРЭС им. А.С. Попова : СевГУ, 2025. – № 8. – С. 126.
6. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.
7. Штенников, В.Н. Исследование тепловых характеристик паяльных стержней / В.Н. Штенников // Метрология. – 2017. – № 2. – С. 26–30.
8. Цифровая паяльная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxem.net/mc/mc55.php>
9. Микроконтроллерные системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxem.net/mc/mc68.php>
10. Все, что нужно знать о паяльных станциях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://attentionrus.com/knowledgebase/articles/chto-takoe-payalnaya-stantsiya/>

UDC 621.396.6.002:621.791.3

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A DIGITAL SOLDERING STATION AND AN ELECTRIC SOLDERING IRON IN THE ASSEMBLY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

Nesterovich Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article provides a comparative analysis of the efficiency of a digital microcontroller-controlled soldering station and a traditional electric soldering iron. Design features, temperature control accuracy, and operational characteristics of the devices are discussed. The advantages of digital control systems in ensuring soldering quality and the reliability of electronic components are demonstrated.

Keywords: Soldering station, soldering iron, microcontroller.