

**БЕСПАЛОВ Н. Н., ПЕРКОВ А. А., ПАНЬКИН К. Ю., ЛЯДУНОВ К. А.**

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКА  
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ CNC 3018  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТОТИПОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

**Аннотация.** В статье приводятся результаты модернизации и исследований технологических возможностей станка с числовым программным управлением CNC 3018 для изготовления односторонних и двухсторонних печатных плат. Печатные платы будут применяться для прототипирования различных электронных устройств в студенческом конструкторском бюро «Прибор-МГУ» кафедры электроники и наноэлектроники Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

**Ключевые слова:** прототипирование, печатные платы, класс точности, CNC 3018.

**BESPALOV N. N., PERKOV A. A., PANKIN K. YU., LYADUNOV K. A.**

**MODERNIZATION AND RESEARCH OF TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF  
THE CNC 3018 NUMERICAL CONTROL MACHINE FOR THE PRODUCTION OF  
PRINTED CIRCUIT BOARD PROTOTYPES**

**Abstract.** The article presents the results of modernization and research of technological capabilities of the CNC 3018 numerical control machine for the manufacture of single-sided and double-sided printed circuit boards, which will be used for prototyping various electronic devices in the student design bureau "Device-MRSU" of the Department of Electronics and Nanoelectronics of the National Research Mordovia State University.

**Keywords:** prototyping, printed circuit boards, accuracy class, CNC 3018.

При разработке и макетировании различных электронных устройств часто возникает необходимость в создании прототипов печатных плат разрабатываемых устройств. Поскольку данный процесс не является завершающей стадией создания конечного устройства, в различных ситуациях требуется получение нескольких прототипов печатных плат. Компании, которые предоставляют услуги по созданию печатных плат, зачастую работают с минимальными заказами от 1 до 10 штук, однако, при этом необходимо учитывать, что, чем меньше количество заказываемых печатных плат, тем выше их стоимость, а время изготовления и доставки печатных плат занимает от 5 до 20 рабочих дней. При этом стоимость доставки образцов возрастает также с уменьшением срока поставки плат заказчику [1]. В некоторых случаях стоимость и сроки доставки имеют решающее значение, не позволяющее выполнить работы по прототипированию печатных

плат в срок. Решающую роль при этом играет также повышение стоимости разработки. Возможным способом решения данной проблемы является изготовление прототипов печатных плат непосредственно самими разработчиками.

Существуют три наиболее распространённых типов технологии прототипирования печатных плат для электронных устройств:

- с использованием термотрансферной бумаги, на которой напечатан рисунок печатной платы с помощью лазерного или струйного принтера с последующим травлением меди в областях, где нет рисунка;
- технология с применением фоторезиста с последующим экспонированием через прозрачную пленку рисунка печатной платы и травлением слоя меди в не засвеченных областях фоторезиста;
- технология с применением фрезерных станков с ЧПУ.

По сравнению первыми двумя технологиями, ЧПУ фрезерный станок способен, помимо изготовления рисунка печатной платы, вырезать контур платы и сверлить отверстия для компонентов, поэтому данная технология задействует меньше физический труд человека. Недостатком технологии с использованием ЧПУ фрезера является низкая производительность, но в случае прототипирования малого количества печатных плат это не является существенным недостатком.

В рамках работ по созданию электронных устройств, которые проводятся в студенческом конструкторском бюро (СКБ) «ПРИБОР-МГУ» кафедры электроники и наноэлектроники НИ МГУ им. Н. П. Огарёва на базе стандартной конструкции станка с числовым программным управлением CNC 3018 [2] разработана собственная конструкция станка для прототипирования печатных плат (рисунок 1).

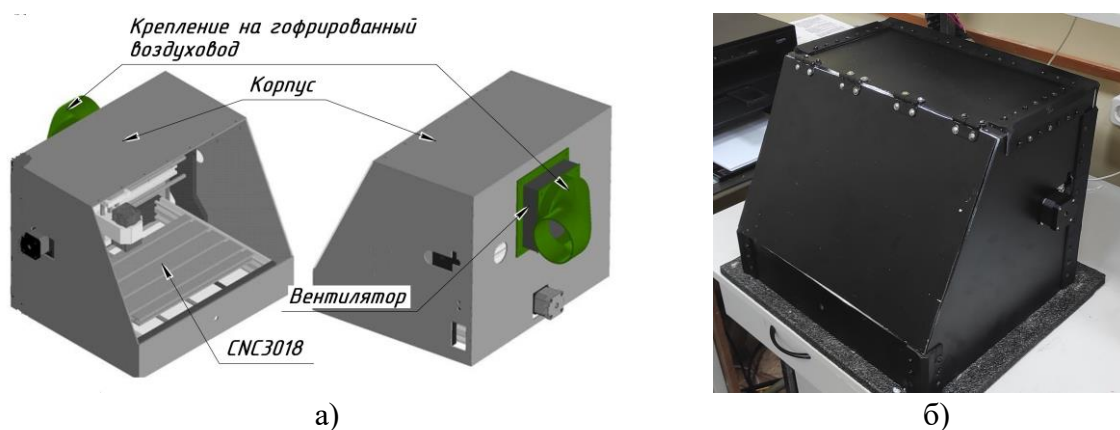


Рис. 1. Внешний корпус фрезерного ЧПУ станка CNC 3018 в виде 3D-модели (а) и в реальном исполнении (б).

Для обеспечения безопасности при эксплуатации, а также для снижения шума при работе, станок помещён в пластмассовый корпус, выполненный из вспененного поливинилхлорида (ПВХ). В

конструкции предусмотрена возможность быстрой смены лазера на фрезу, а также для отведения продуктов горения и пыли при использовании лазера используется специальное крепление для подключения гофрированного воздуховода, соединяющего станок с внешней системой вытяжной вентиляции, установленной в помещении СКБ.

Для исследования достижения возможного класса точности изготовления печатных плат при помощи разработанного станка, согласно ГОСТ и технологическим возможностям отдельно взятых производителей [3, 4], в программной среде SprintLayout была разработана тестовая печатная плата, представленная на рисунке 2.

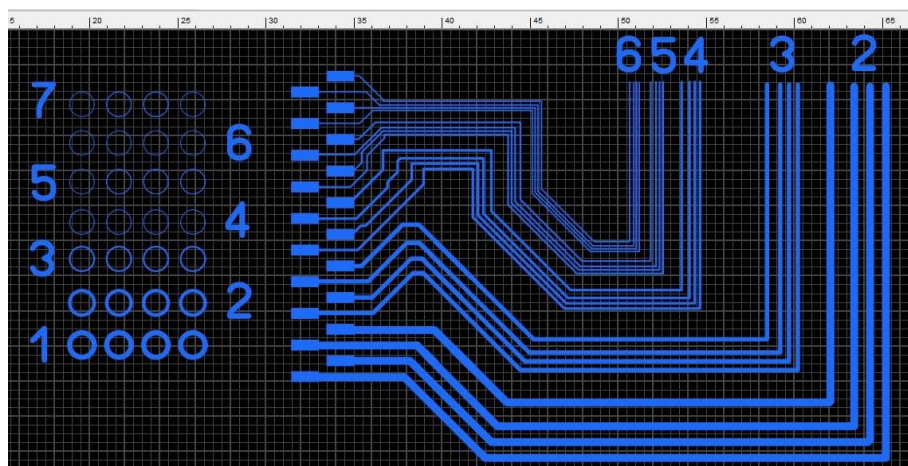


Рис. 2. Рисунок тестовой печатной платы.

Из рисунка 2 видно, что на плате присутствуют проводники с различной шириной и расстояниями между ними, в соответствии с классом точности в соответствии со стандартом ГОСТ Р 53429-2009 [3]. На плате также присутствуют контактные площадки с разной шириной пояса в соответствии с заданным классом точности. Контактные площадки и проводники различной толщины продублированы в нескольких экземплярах для оценки повторяемости результатов. Цифры на рисунке печатной платы, рядом с проводниками и контактными площадками, соответствуют применимому к ним классу точности.

Для определения класса точности ЧПУ фрезерного станка со шпинделем с использованием гравера с минимальным диаметром режущей части типа «ласточкин хвост» была выполнена тестовая печатная плата, представленная на рисунке 3.

В результате визуального осмотра данного исполнения печатной платы, а также тестирования проводников на ней на короткое замыкание, сделан вывод, что максимальный класс точности, доступный при выполнении печатной платы с применением фрезы тип «ласточкин хвост» равняется 2, поскольку проводящие дорожки или контактные площадки для 3–6 класса точности отсутствуют, либо имеют короткое замыкание, либо не соответствуют

своим реальным размерам. Для соблюдения заданной ширины проводника и гарантированного пояса контактной площадки была построена детальная карта высот с шагом в 5 мм, но при этом, фреза типа «ласточкин хвост» заглаблялась в медную фольгу неравномерно, что возможно увидеть при детальном рассмотрении рисунка 3, что свидетельствует о том, что при данном способе изготовления печатных плат сложно добиться качественной повторяемости результатов изготовления печатных плат.

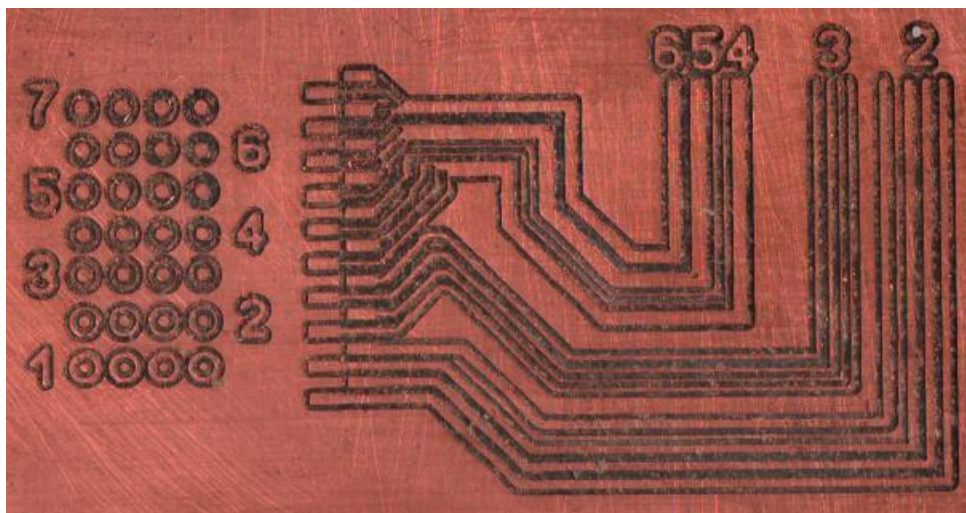


Рис. 3. Тестовая плата, вырезанная с помощью фрезы типа «ласточкин хвост».

Однако данный способ можно эффективно применять для быстрого создания прототипов печатных плат невысокой точности воспроизведения дорожек и контактных площадок, что возможно применять при создании блоков с относительно крупными дискретными элементами, например, резисторами, конденсаторами, транзисторами, трансформаторами, реле и некоторыми типами микросхем.

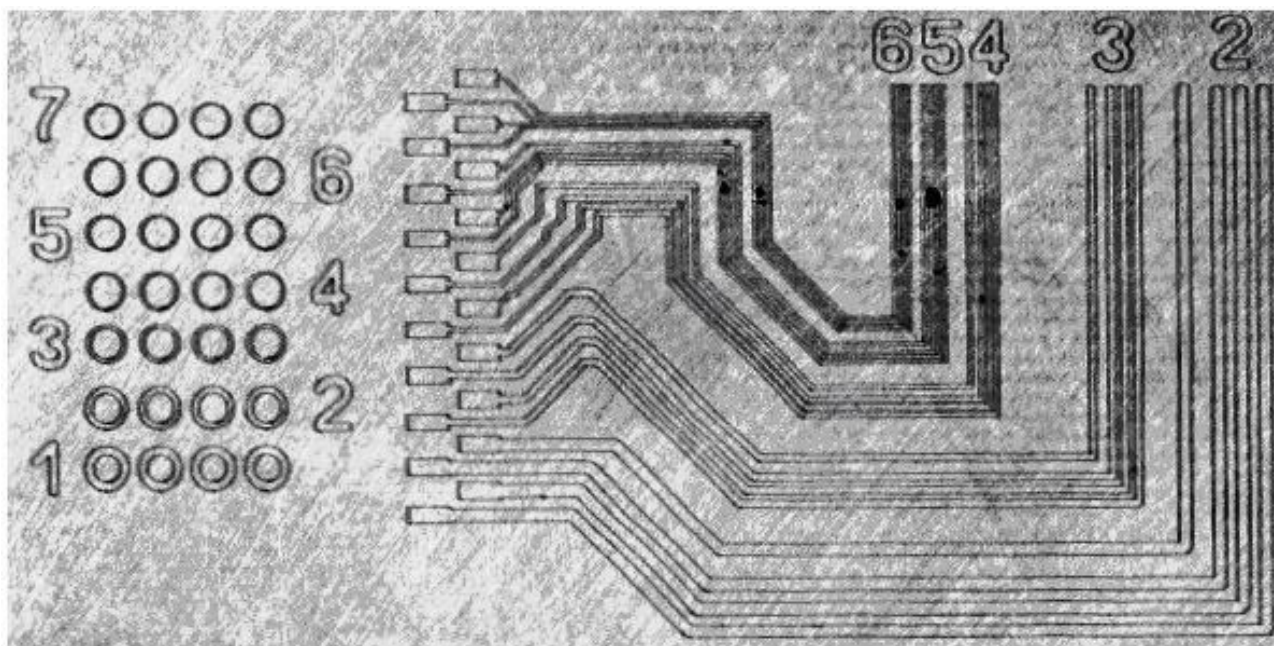
Помимо стандартных инструментов для фрезеровки и сверления, на данный ЧПУ станок возможно устанавливать лазер. При установке лазерного блока можно обеспечить теоретически значительно более высокую точность изготовления печатных плат, поскольку минимальный диаметр сфокусированного лазерного луча на заготовки может быть менее 0,1 мм.

Для испарения слоя меди с помощью лазера нужна мощность не менее 10 Вт. При этом необходимо учитывать, что при применении лазеров большей мощности возможен перегрев фольгированного стеклотекстолита, что может привести к расслоению слоя медной фольги и стеклотекстолита, а также к деформации самой печатной платы. Нами применялся лазер с мощностью 5 Вт. При экспериментальном проведении прототипирования тестовых печатных плат использовался метод с применением предварительного полного закрашивания печатной платы аэрозольной краской и дальнейшего выжигания лазером рисунка печатной платы по ней. Далее печатную плату вытравливали с помощью хлорного железа.

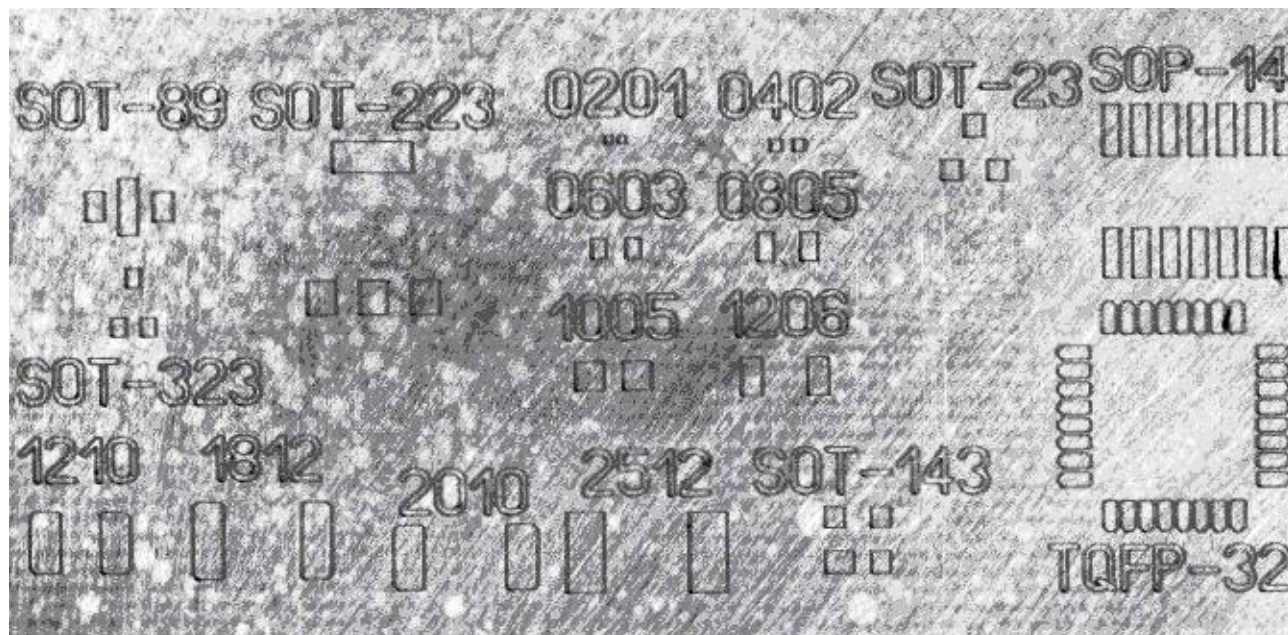
Для определения класса точности изготовления плат при помощи разработанного ЧПУ станка при работе с лазером, были изготовлены тестовые платы, представленные на рисунках 4, а и б.

На рисунке 4. а представлена печатная плата, изготовленная по рисунку 2.

Для визуальной оценки возможностей лазера также была разработана и изготовлена печатная плата для установки на ней распространённых компонентов для поверхностного SMD монтажа (рисунок 4. б).



а)



б)

Рис. 4. Выполненные тестовые печатные плат для визуальной оценки возможностей применения лазерной технологии.

В результате визуального осмотра платы на рисунке 4.а, а также же тестировании проводников на короткое замыкание можно сделать вывод, что при работе с лазерным блоком возможно достигнуть максимальный класс точности равного 4, поскольку проводящие дорожки или контактные площадки для 5–6 класса точности либо отсутствуют, либо не соответствуют своим реальным размерам. Из рисунка 3.б видно, что все контактные дорожки для компонентов поверхностного монтажа (SMD) выполнены с достаточным качеством, вплоть до минимально возможного посадочного места для конденсаторов и резисторов типоразмера 0201.

Корректное вырезание контура или сверление печатной платы, можно обеспечить при построении карты высот платы. Для этого в шпиндель зажимают режущий инструмент, к которому подключают один из проводов щупа карты высот, а другой провод к слою меди на печатной плате. Программа фрезерного станка принимает начальное положение оси Z как нулевое, после чего происходит построение карты высот, путем опускания шпинделя до электрического контакта между двумя проводами щупа карты высот. Разница между нулевым положением и фактическим, при опускании шпинделя по нескольким точкам на плате, и будет являться картой высот данной печатной платы.

Для того, чтобы добиться минимального участия человека при изготовлении печатной платы с максимальным классом точности, требуется работа, как лазерного блока, так и шпинделя на ЧПУ фрезерном станке. При этом печатная плата не должна извлекаться из стола фрезерного станка до конечного этапа изготовления, поскольку при этом может произойти смещение рисунка, контура или отверстий печатной платы. В связи с этим для построения карты высот с помощью шпинделя требуется токопроводящая краска, иначе, с обычной краской, без извлечения печатной платы из стола фрезерного станка обойтись не получится. По этой причине способ с нанесением фоторезиста и засвечиванием его с помощью лазерного блока не был рассмотрен, поскольку фоторезист не является проводником и препятствует построению карты высот с помощью щупа на шпинделе. Для быстрой замены лазерного блока на шпиндель, было разработано быстросъемное устройство для шпиндельной бабки, выполненное с применением станка 3D-печати (рисунок 5).

Необходимо отметить, что в рамках стратегического проекта 2030, который реализуется на кафедре, нами разрабатывается ряд аппаратно-программных комплексов и приборов, все печатные платы которых уже изготовлены и предполагается, что и в будущем будут изготавливаться с применением модернизированного станка с числовым программным управлением CNC 3018.

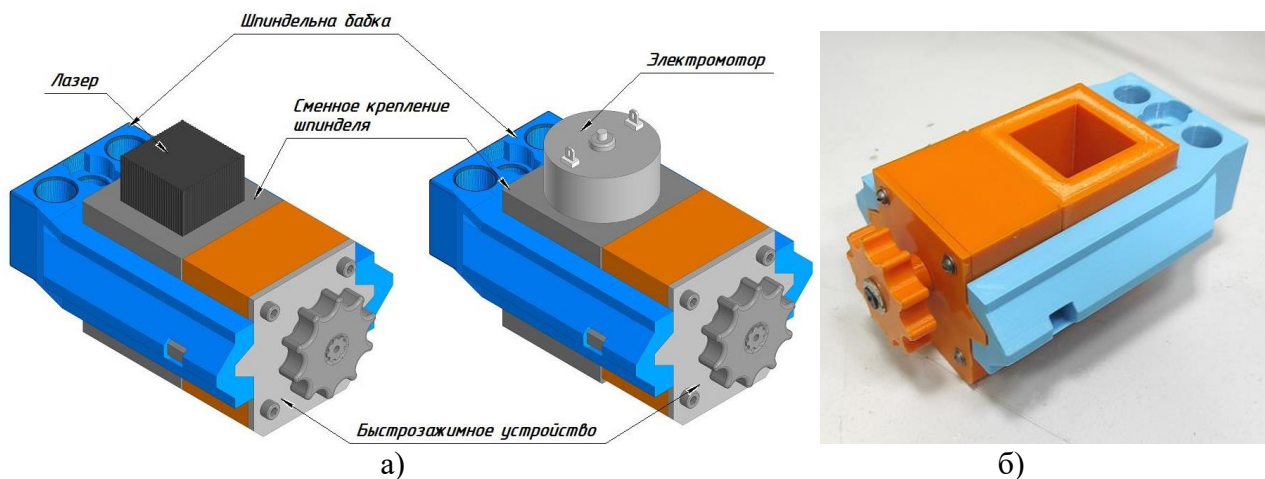


Рис. 4. Быстрозажимное устройство для шпиндельной бабки в виде 3D-модели (а) и в реальном исполнении (б).

В результате модернизации станка с числовым программным управлением CNC 3018 и исследования двух методов технологий изготовления печатных плат с его применением установлены возможности создания печатных плат с различными классами точности исполнения. Экспериментально показано, что применение метода лазерного выжигания рисунка печатной платы с последующим её травлением в растворе хлорного железа, позволяет достигнуть 4-го класса точности в производстве экспериментальных печатных плат. Это позволяет разместить на них все наиболее распространенные радиокомпоненты, включая компоненты в SMD исполнении, такие как конденсаторы и резисторы типоразмера 0201 и микроконтроллеры с типом корпуса схожим с TQFP-32.

Разработанное быстрозажимное устройство позволило ускорить замену шпинделя на лазер и наоборот, а корпус из ПВХ уменьшил шум при работе фрезерного станке, помимо этого, вытяжной вентилятор полностью справляется с отводом продуктов горения во время использования лазера. Данный комплекс для производства прототипов печатных плат можно считать законченным устройством для применения в лабораторных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прайс-лист на печатные платы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.rezonit.ru/price\\_pcb](https://www.rezonit.ru/price_pcb) (дата обращения 11.09.2023).
2. Станок CNC 3018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cnc-maniac.ru/stanok-cnc-3018/?ysclid=ln6iw1h9z699600129> (дата обращения 11.09.2023).
3. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию

и метрологии от 27 ноября 2009 г. № 519-ст) // Платы печатные. Основные параметры конструкции – М.: Стандартиформ, 2018.

4. Технологические возможности производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/directory/tekhnologicheskie-osobennosti-proizvodstva> (дата обращения 11.09.2023).