

Научная статья

УДК 62-529+62-519

<https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.1.81>

## Единый подход к модернизации станков с ЧПУ

**А. Ю. Антонов<sup>✉</sup>, Д. П. Данилаев, М. А. Царёва**

Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева – КАИ,  
Российская Федерация, 420111, Казань, ул. Карла Маркса, 10  
[ayuantonov@kai.ru](mailto:ayuantonov@kai.ru) <sup>✉</sup>

**Аннотация.** Один из видов модернизации станков с ЧПУ – замена устаревших электронных блоков управления на более функциональные и компактные, выполненные на современной элементной базе. Однако разными исполнителями предлагаются варианты модернизации, отличающиеся элементной базой, интерфейсом программирования, конструкцией, и др. Как следствие появляются различия в подготовке и загрузке технологической программы управления станком с ЧПУ, что требует от оператора знания разнообразных интерфейсов. Это разнообразие вызывает сложности эксплуатации станков с разным интерфейсом, а также усложняет интеграцию модернизированных станков в единую технологическую цепочку. Предприятие становится заложником одного контракта на модернизацию, чтобы все остальные, так или иначе модернизируемые станки работали по единому алгоритму. Цель работы – анализ возможности единого подхода к модернизации системы управления станками с ЧПУ различных поколений. В работе рассмотрено понятие единого подхода к модернизации станков с ЧПУ и рассмотрены варианты его реализации. Сопоставление вариантов по ряду критериев позволило выбрать наиболее целесообразный из них. Предложена обобщённая структурная схема блока управления, реализующая единый подход к модернизации станков с ЧПУ.

**Ключевые слова:** модернизация станков с ЧПУ; системы управления ЧПУ; схема управления станком с ЧПУ; автоматизация производства

**Благодарности:** авторы признательны анонимным рецензентам за полезные рекомендации по этой работе.

**Финансирование:** научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Рег. номер НИОКТР АААА-А20-120102190039-6.

**Введение.** Замена системы управления является основным и важнейшим элементом модернизации станков с ЧПУ [1]. В настоящее время предлагается много вариантов такой модернизации. Но каждый вариант отличается своим решением относительно структурной и технической реализации системы управления станком. Связано это со спецификой конкретного станка, например, его функциональным назначением, но также с тем, что станки с ЧПУ разных поколений имеют системы управления, отличающиеся как

типом сигналов, так и методом управления исполнительными механизмами. Как следствие появляются различия в подготовке и загрузке технологической программы управления станком с ЧПУ, что требует от оператора знания разнообразных интерфейсов. Последнее существенно повышает порог вхождения, ведёт к необходимости переобучения и, следовательно, к дополнительным тратам. Разнообразие используемой для модернизации электроники, конструктивных решений, интерфейса оператора вызывает сложности

© Антонов А. Ю., Данилаев Д. П., Царёва М. А., 2022.

**Для цитирования:** Антонов А. Ю., Данилаев Д. П., Царёва М. А. Единый подход к модернизации станков с ЧПУ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2022. № 1 (53). С. 81-93. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.1.81>

эксплуатации модернизированных станков, а также усложняет интеграцию модернизированных станков в единую технологическую цепочку. Предприятие становится заказчиком одного контракта на модернизацию, чтобы все остальные модернизируемые станки работали по единому алгоритму.

**Цель работы** – анализ возможности единого подхода к модернизации системы управления станками с ЧПУ различных поколений.

**Адаптируемые системы управления станками с ЧПУ.** С начала 2000-х годов не раз предпринимались попытки построения относительно универсальной системы управления станков с ЧПУ. Однако приоритетные задачи, которые должно решать это универсальное оборудование (блоки управления), и само представление об его универсальности в каждом решении отличаются. Чаще всего к приоритетным относят задачи [2–5]:

- гибкость архитектуры и возможность построения на основе устройств ЧПУ комплексных систем управления станками;
- возможность быстрой адаптации к любому технологическому оборудованию;
- работа совместно с системой управления верхнего уровня на основе стандартных сетевых технологий;
- возможность интеграции с САМ-сервером для выполнения полноценной

коррекции управляющей программы по результатам предыдущих операций;

- существенное повышение доступного объема памяти для управляющих программ и др.

Признаётся необходимость создания узнаваемого интерфейса оператора относительно универсального для разных технологических машин. При этом признаётся, что большое число функциональных задач, контролируемых параметров, различия в числе управляемых координат (от двух до десятка и более)<sup>1</sup> существенно усложняют создание единого интерфейса.

В процессе модернизации обеспечение решения всех перечисленных задач достигается за счёт построения гибких автоматизированных участков из станков с ЧПУ, которые объединяют одну-две управляющие ЭВМ, станочные устройства с числовым программным управлением (УЧПУ) и каналы связи [3, 4, 7]. На нижнем уровне такой системы расположены контроллеры, отвечающие за управление станком в режиме реального времени (рис. 2). В частном случае центральная ЭВМ может выполнять функции контроллера автоматики станка. При этом программное обеспечение запускается на этой ЭВМ отдельным приложением и обменивается данными с УЧПУ [3].

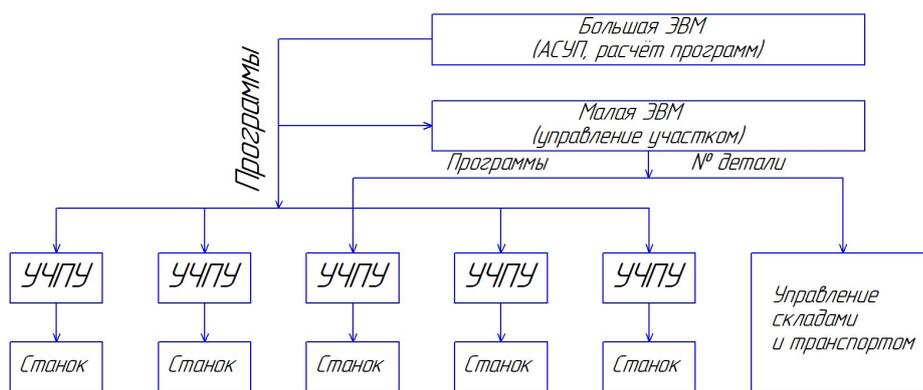


Рис. 1. Структурная схема управления гибким автоматизированным участком [7]  
Fig. 1. Block scheme of flexible automated section control [7]

<sup>1</sup> Абульханов С.Р., Жидяев А.Н. Системы ЧПУ металлорежущих станков: учебное пособие. Самара: СамГУ, 2020. 118 с. Текст: электронный. URL: <https://e.lanbook.com/book/188968> (дата обращения: 05.01.2022). Режим доступа: для авториз. пользователей.

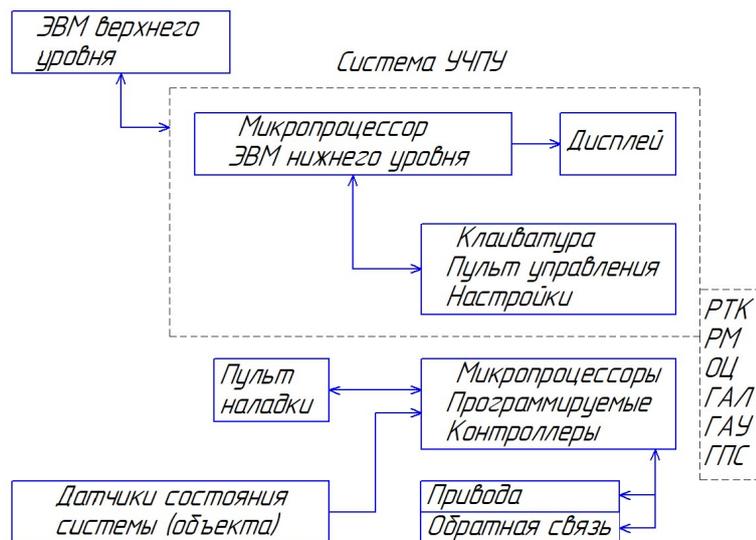


Рис. 2. Структура технологической системы с ЧПУ [7]  
 Fig. 2. The structure of the technological system with CNC [7]

Описанные подходы не снимают ряда проблем, связанных с модернизацией станков с ЧПУ I–III поколений. Инженерами признаётся, что отдельной проблемой их модернизации является «необходимость нахождения компромисса между универсальностью системы программного управления и спецификой конкретного станка» [4]. То есть в структуре гибкого автоматизированного участка должны быть различные устройства с ЧПУ для разных станков, обеспечивающих их совместную работу. На этом, нижнем уровне, универсальность остаётся условной, ограниченной. Прежде всего, на уровне отдельных технологических машин возникают проблемы сопряжения с разными

методами и, соответственно, системами управления.

Рассмотрим проблему расширения универсальности устройств с ЧПУ подробнее.

**Системы управления станками с ЧПУ разных поколений.** В зависимости от элементной базы и уровня использования ЭВМ различают системы ЧПУ I, II, III, IV и V поколений [6]. Станки с ЧПУ I–II поколений используют фазовую систему управления, с ЧПУ III поколения – импульсные системы. На рис. 3 показана структурная схема одного канала типовой фазовой системы управления на примере станка 6М13ГН1 [7]. Схема аналогична для каждой координаты положения рабочего инструмента.

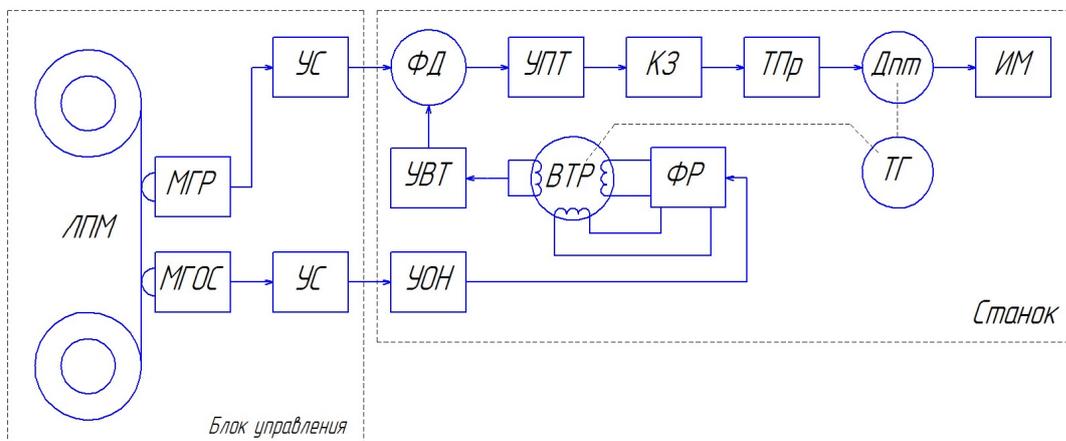


Рис. 3. Структурная схема фазовой системы управления станка с ЧПУ [9]  
 Fig. 3. Structural diagram of the phase control system of a CNC machine [9]

Блок управления основан на устройстве считывания данных с магнитной ленты, состоящем из лентопротяжного механизма (ЛПМ), рабочей магнитной головки (МГР) и магнитной головки опорного сигнала (МГОС). Считываемый рабочей магнитной головкой синусоидальный сигнал после усиления в усилителе (УС) поступает на один из входов сравнивающего устройства – фазового дискриминатора (ФД). Опорное напряжение  $e_0 = U_m \sin \omega t$ , считываемое магнитной головкой опорного сигнала (МГОС), проходит предварительный усилитель (УС) и усилитель опорного напряжения УОН и через фазорасщепитель (ФР) питает входные обмотки статора вращающегося трансформатора (ВТР) со сдвигом фазы в  $90^\circ$ . Благодаря этому образуется круговое вращающееся магнитное поле, которое перемещается с угловой частотой  $\omega$ . При этом, в роторных обмотках индуцируется ЭДС, имеющая такую же частоту, но сдвинутая по фазе относительно опорного напряжения на угол, который определяется углом поворота ротора  $\varphi$ , т. е.  $e_0 = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ . Вращающийся трансформатор (ВТР) является датчиком обратной связи по положению и по скорости, так как его ротор кинематически связан с ротором приводного двигателя.

Привод станка основан на двигателе постоянного тока (Дпт), который управля-

ется с помощью тиристорного преобразователя (ТПр) и также связан с тахогенератором (ТГ) и ротором ВТР. Таким образом, ВТР осуществляет преобразование измеряемого перемещения рабочего инструмента в сигнал в виде непрерывно изменяющегося фазового угла  $\varphi$  синусоидальных колебаний. Выходное напряжение после усиления в усилителе вращающегося трансформатора (УВТ) поступает на второй вход ФД. В результате перемножения поступающих на ФД сигналов на его выходе получается медленно меняющийся сигнал рассогласования, пропорциональный разности фаз. Этот сигнал, после усиления усилителем постоянного тока (УПТ) и прохождения через корректирующее звено (КЗ), поступает на управляющий вход тиристорного преобразователя. Чем больше разность фаз, тем больше управляющее напряжение, поступающее на двигатель, и выше частота его вращения.

На рис. 4. показаны сигналы фазового управления: на выходе усилителя головки опорного сигнала и рабочей головки, по одному на каждую из трёх координат. Скорость движения рабочего инструмента станка будет зависеть от сдвига фазы между опорным и рабочим сигналами. При отсутствии сдвига фаз между опорным и рабочим сигналами напряжение на Дпт будет равно нулю, и исполнительный механизм (ИМ) станка останавливается.

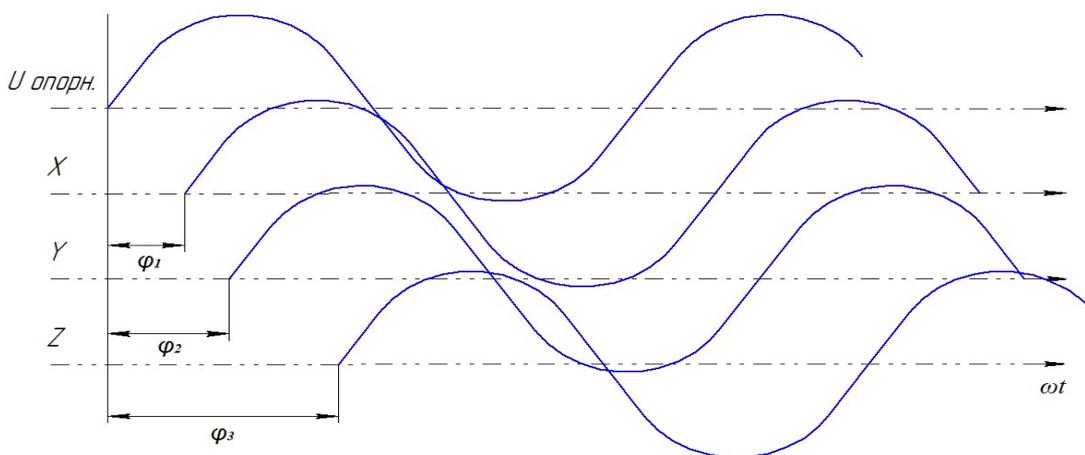


Рис. 4. Сигналы управления фазовой системы станков с ЧПУ  
Fig. 4. Control signals of the phase system of CNC machines

В данной схеме система обратной связи жёстко связана с конструкцией силового привода. Замена привода станка можно отнести к капитальной реконструкции станка, которая по стоимости сопоставима со стоимостью нового станка с ЧПУ<sup>2</sup>. Замена датчика обратной связи – практически невозможна без вмешательства в привод и целесообразна только в ряде частных случаев, поэтому при модернизации станков с ЧПУ изменения методов управления и датчиков обратной связи затруднительны [6, 8].

Фазовые системы управления станков с ЧПУ особо подвержены воздействию шумов, помех, искажений. При изменении внешних воздействий: температуры, влажности, появлении вибраций – появляются искажения сигналов управления из-за изменений параметров схем, точности считывания данных с ленты (сигнал, считываемый с магнитной ленты, крайне слабый) и др. Для аналоговой системы управления станками существует проблема точной передачи сигналов на большие расстояния из-за неидеальности линии связи, ограниченности полосы пропускания канала связи, нелинейности аналого-

вого тракта, а также из-за действия помех [9, 10, 11].

Обобщённая структурная схема импульсной системы управления станков с ЧПУ представлена на рис. 5 (на примере системы ЧПУ «Электроника НЦ-31»). В ней за формирование сигнала управления отвечает микро-ЭВМ, выполняющая команды с носителя данных и имеющая устройства ввода-вывода (клавиатура и дисплей) для контроля технологических операций и управления ими. Исполняемая программа загружается с носителя во внешнюю память ЭВМ. За счёт этого можно изменять скорость выполнения программы, а также останавливать или запускать программу вновь. Исполнительный механизм (ИМ) станка приводится в движение шаговым двигателем (ШД), а сгенерированные с помощью ЭВМ сигналы управления подаются на устройство управления шаговым двигателем (УУШД)<sup>3</sup>. Силовой привод станка значительно проще, по сравнению с предыдущим поколением (рис. 3), а импульсный метод управления сам по себе упрощает модернизацию или замену блока управления.

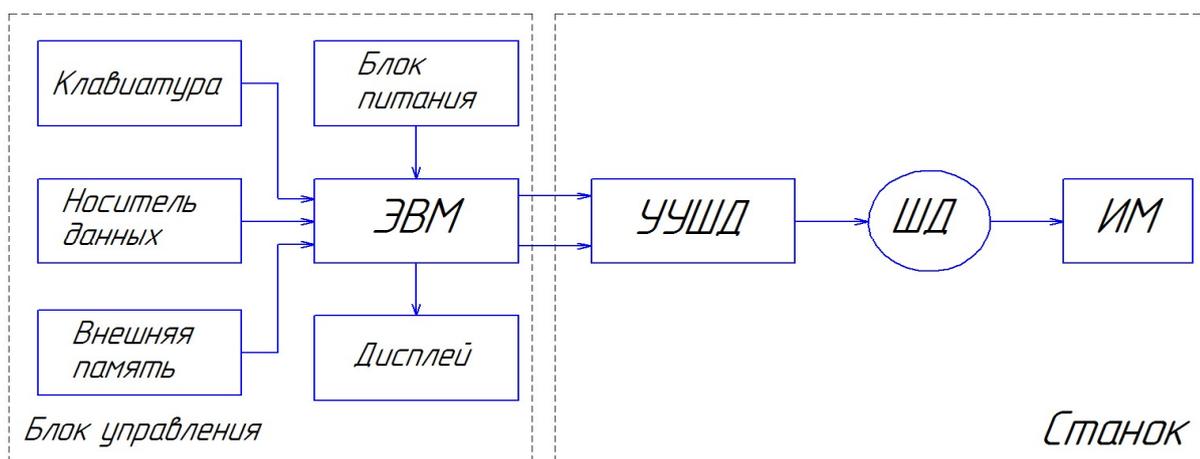


Рис. 5. Структурная схема импульсной системы ЧПУ

Fig. 5. Structural diagram of the CNC pulse system

<sup>2</sup> Фролов А.Ю. Модернизация станков с ЧПУ [Электронный ресурс] // Сайт «Инженер поможет». 2016. URL: <http://engcrafts.com/item/406-modernizatsiya-stankov-s-chpu> (Доступ свободный. Дата доступа 20.07.2021).

<sup>3</sup> Устройство управления шаговым приводом УУШП-16 (ШИМ). Паспорт 2.556.028. ПС. 1979г. URL: <http://www.i-mash.ru/forum/biblioteka/file/207-uushp-16-shim-ustrojstvo-upravleniya-shagovym-privod/> (Доступ свободный. Дата доступа 20.07.2021).

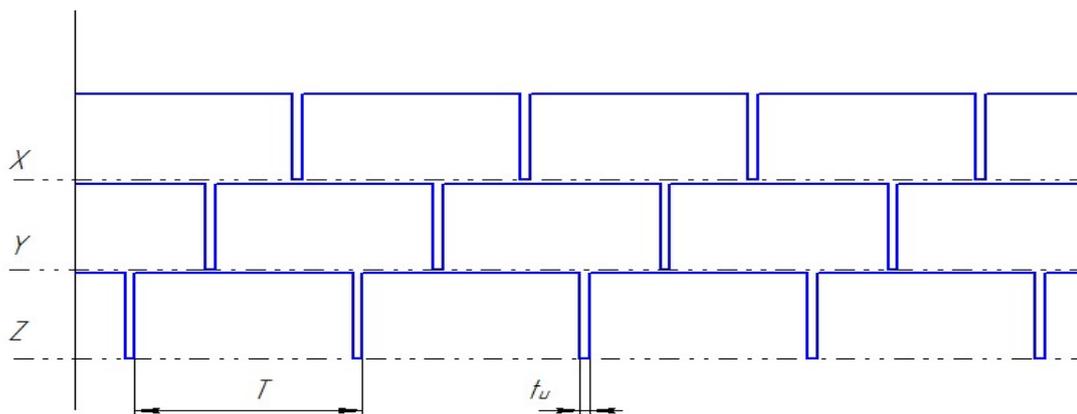


Рис. 6. Сигналы управления импульсной системы станков с ЧПУ [9]  
 Fig. 6. Control signals of the pulse system of CNC machines [9]

Для управления УУШД обычно используются импульсные сигналы отрицательной полярности (рис. 6). Данные сигналы в гораздо меньшей степени подвержены влиянию помех, чем синусоидальные сигналы фазового управления. Чем выше частота повторения ( $1/T$ ) импульсов, тем выше скорость вращения рабочего органа станка по данной координате. При этом используются отдельные линии для перемещения вперёд и назад. При отсутствии на входе УУШД импульсов исполнительный механизм станка останавливается. Какая-либо обратная связь при этом отсутствует – принцип работы шагового двигателя обычно гарантирует высокую точность перемещения рабочего органа станка без каких-либо дополнительных мер.

Рассматриваемые фазовая и импульсная системы управления отличаются не только типом управляющего сигнала, но также уровнями управляющих воздействий. При модернизации станка с ЧПУ это потребует электронного блока сопряжения выходов современного цифрового блока управления с исполнительным механизмом и блоком датчиков ОС. А сам цифровой блок управления для модернизируемых станков разных поколений должен обрабатывать разные принципы и алгоритмы управления, вырабатывать разные управляющие воздействия для реализации одной и той же функции.

**Задачи универсальной модернизации.** Построение гибких автоматизиро-

ванных участков из станков с ЧПУ не всегда является целесообразным и доступным. Часто целью модернизации является восстановление станка, необходимого в технологической цепи производства, задачами модернизации – расширение функциональных возможностей, повышение надёжности, точности, быстродействия, снижение производственных издержек, рост производительности труда и значительное повышение качества выпускаемой продукции. Для этого можно ограничиться заменой устаревшего блока ЧПУ на современный электронный модуль (так называемая «минимальная модернизация») [1]. При минимальных финансовых и временных затратах проведённой модернизации оборудование не уступает по эксплуатационно-техническим характеристикам современному оборудованию, а по надёжности механической части может даже превосходить его. В процессе модернизации интерфейс системы должен приблизиться к современным стандартам: стать более понятным, удобным, адаптированным для интеграции с другими устройствами и системами.

В отличие от подходов, описанных выше, в этом случае модернизация касается только станочных устройств с числовым программным управлением<sup>4</sup>. Слож-

<sup>4</sup> Зубенко В.Л., Емельянов Н.В. Системы управления станков с ЧПУ: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 204 с.

ность модернизации на этом уровне заключается в разработке отдельного электронного блока под специфику конкретного станка или адаптацию существующих электронных блоков под него. Создание некоторого универсального устройства способствовало бы стандартизации процедуры модернизации, за счёт чего возможно и сокращение затрат на модернизацию. Возникает вопрос – а возможен ли единый подход в модернизации УЧПУ как I–II, так и III поколения? Что понимать под единым подходом к модернизации разных станочных устройств с ЧПУ? Рассмотрим эти вопросы.

**Возможные решения.** С точки зрения реализации требуемых функций для рациональной организации технологического процесса важно, чтобы одним загрузочным файлом можно было запустить выполнение одной операции (изготовление изделия) на модернизированных станках разного поколения. Оператор станков с ЧПУ не должен ощущать разницу в компиляции загружаемых команд и файлов, различие во внутренних алгоритмах микроконтроллера. Тогда понятие единого подхода связано с ориентацией на одну одинаковую программу выполнения технологической операции и одинаковый загрузочный файл для модернизированных станков с ЧПУ разных поколений. Блок, реализующий в себе возможность работы как с фазовыми, так и с импульсными сигналами, должен иметь единый интерфейс (рис. 7). Внешний программатор при этом нужен для настройки блока управле-

ния под конкретный тип станка, а интерфейс же – для загрузки исполняемых программ.

Возможны варианты построения станочных устройств с ЧПУ, реализующей единый подход:

1) различные для разных станков цифровые блоки управления (на микрокомпьютере, например, на микроконтроллере), обладающие одним общим интерфейсом;

2) единая для разных станков аппаратная часть цифрового блока управления с одним общим интерфейсом, но с использованием различных программных реализаций алгоритмов управления и различных устройств сопряжения со станком (по модульному принципу);

3) единая для разных станков аппаратная часть цифрового блока управления с одной полной программной реализацией всех возможных алгоритмов управления и встроенным набором устройств сопряжения для станков всех поколений; и также общий интерфейс.

Рассмотрим каждый вариант подробнее. Первый вариант – есть первый шаг к упорядочиванию технических решений по модернизации станков, и даже, возможно, к стандартизации процедуры модернизации и её результатов. Этот вариант допускает различные схемные и конструктивные решения для каждого поколения станков, разную элементную базу, но предполагает единый общий интерфейс, предусматривающий возможность интеграции в единые технологические цепочки.

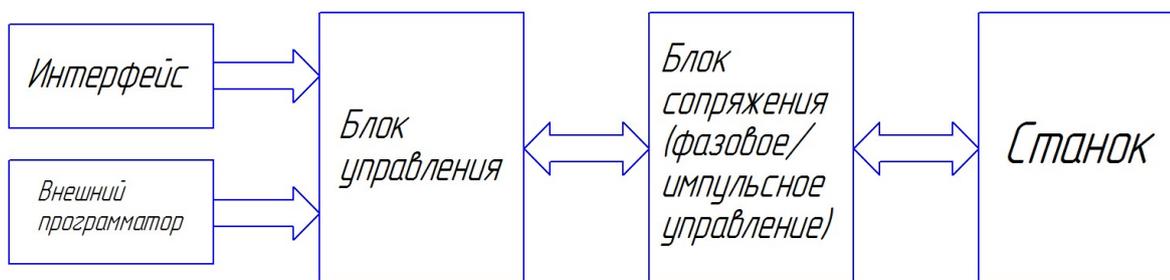


Рис. 7. Функциональная схема предлагаемой системы управления станком

Fig. 7. Functional diagram of the proposed machine control system

Второй вариант предполагает упорядочивание требований к выбору элементной базы для станочных устройств с ЧПУ, что вполне оправдано в условиях импортозамещения. Предполагается, что если в основу системы управления может быть положен современный микрокомпьютер, то при заданных алгоритмах он может выработать требуемые виды управляющих воздействий, которые с помощью электронных блоков сопряжения могут быть согласованы с исполнительными механизмами станка по уровням, форме сигналов, временным параметрам и т. д. Тогда допускается, что для станков с ЧПУ разных поколений может быть создан один цифровой блок управления, но с разными электронными блоками сопряжения. Для каждого станка может быть разработан свой алгоритм управления или адаптирован из уже существующих для аналогичных станков. Этот алгоритм в дальнейшем реализуется в виде программы микрокомпьютера, например, микроконтроллера блока управления.

Третий вариант является наиболее универсальным за счёт введения избыточности в аппаратной реализации электронных блоков сопряжения и программной реализации алгоритмов управления для всех распространённых серий станков с ЧПУ. Цена универсальности – сложность технической реализации блока управления и его сопряжения с исполнительными механизмами, возможно более громоздкая конструкция, сложность настройки, обслуживания такого устройства, требующие предварительной подготовки технического специалиста. Сложность самого алгоритма управления заключается как минимум в необходимости реализовать системы и аналогового, и импульсного управления. В результате возможна более высокая стоимость такого варианта модернизации. Также появляются вопросы к способу реализации выбора необходимого алгоритма управления, что может вести к применению, например, искусственного интеллекта.

Сопоставление перечисленных вариантов по таким критериям, как стоимость, сложность модернизации, временные затраты на проведение модернизации станков непосредственно на месте, возможность реализации единого интерфейса, точность, надёжность модернизированного станка, вероятность появления отказов, в том числе при пуско-наладке, возможность интеграции станков в единую технологическую цепочку, стабильность, устойчивость работы устройств ЧПУ, позволяют отметить наибольшую целесообразность второго варианта.

**Реализация единого подхода построения станочного устройства с ЧПУ.** Предлагаемый к реализации блок управления станком должен обладать следующими возможностями<sup>5</sup>:

1) использование современной энергонезависимой памяти (например, Flash-памяти) в качестве носителя рабочих программ;

2) модульный принцип установки, смены и подключения электронных блоков сопряжения. В зависимости от типа системы управления (фазовая или импульсная) электронным блоком сопряжения может служить либо многоканальный ЦАП, либо буферный усилитель;

3) простота управления. Выбор текущей программы должен осуществляться из списка, отображаемого на дисплее устройства, при этом необходимо иметь возможность менять, настраивать отдельные параметры техпроцесса. Устройство должно обеспечивать возможность останова программы и продолжения её исполнения в любой момент. Целесообразно предусмотреть реализацию ручного режима для быстрого перемещения инструмента до места обработки;

4) малые габариты, масса и высокая надёжность устройства в целом. Само

<sup>5</sup> ГОСТ 21021-2000 Устройства числового программного управления. Общие технические требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017741> (Доступ свободный. Дата доступа 20.07.2021)

устройство должно быть по возможности собрано на распространённых деталях, желательно отечественного производства.

На основе предложенного подхода был разработан блок нижнего уровня – единый для станков с импульсным и фазовым управлением. Сам блок выполнен по представленной на рис. 8 структуре и собран на основе микроконтроллера Atmega128. Данный блок управления является прототипом, установленным на станках: 6М13ГН1 (фазовая система управления) и 4732Ф3М (импульсная система управления на основе микро-ЭВМ «Электроника-60»). Блок использовался для модернизации станков, активно использующихся в технологическом процессе машиностроительных предприятий. Эксплуатация данного блока на модернизированных станках в течение более пяти лет подтвердила их надёжность и эффективность. Управляющие программы хранятся во внешней Flash-памяти, их выбор осуществляется с помощью клавиатуры, а на дисплее отображаются основные текущие параметры станка. Выбор типа сигналов управления осуществляется за счёт выбора управляющей программы микроконтроллера, а устройство сопряжения служит для согласования блока управления

непосредственно со станком. Использование микроконтроллера позволяет реализовать любой тип управления. Внешний интерфейс служит для связи блока управления станком с ЭВМ верхнего уровня. Таким образом обеспечивается возможность управлять станками разных поколений одним и тем же устройством. На основе прототипа в дальнейшем планируется совершенствование устройства на основе микроконтроллера семейства STM32.

**Заключение.** Таким образом, мы полагаем, что понятие единого подхода к модернизации станочных устройств с ЧПУ связано с ориентацией на одну, одинаковую программу выполнения технологической операции и одинаковый загрузочный файл для станков разных поколений. Проще говоря, единый подход – изготовление одной и той же детали на модернизированных станках с ЧПУ разного поколения по одной и той же управляющей программе с заданной точностью. Единый подход заключается в сохранении одного функционала, обеспечении заданных характеристик и параметров технологического процесса включением станков в единую сеть управления предприятием.

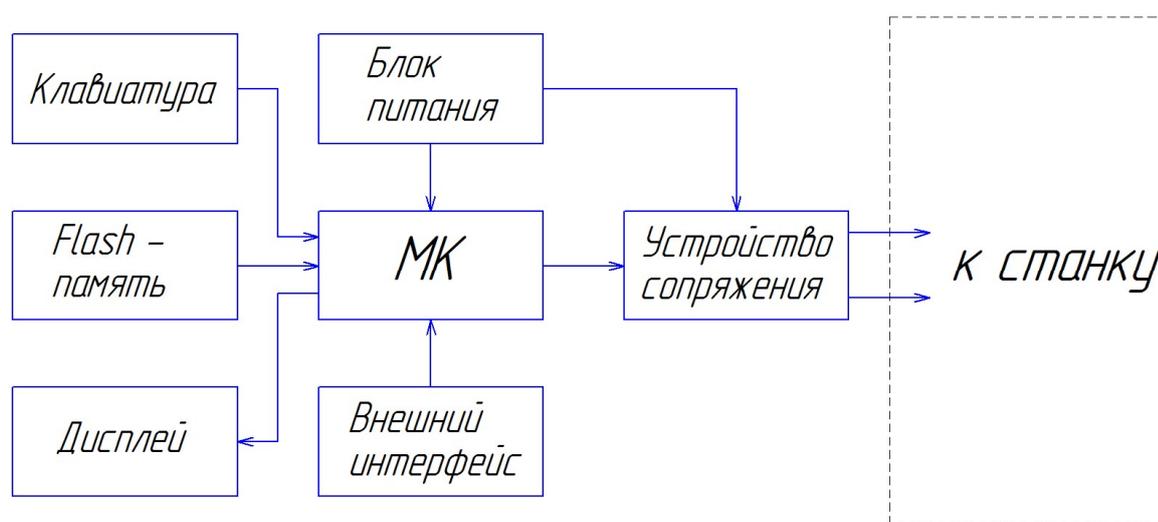


Рис. 8. Структурная схема предлагаемой системы управления на основе микроконтроллера  
 Fig. 8. Structural diagram of the proposed control system based on a microcontroller

Возможно несколько вариантов построения устройства управления, реализующего единый подход. Сопоставление этих вариантов по ряду критериев позволяет отметить целесообразность реализации единой для разных станков аппаратной части цифрового блока управления, с общим интерфейсом, но с использованием различных программных реализаций алгоритмов управления и различных устройств сопряжения со станком (по модульному принципу). Предполагается, что современный микроконтроллер при заданных алго-

ритмах может выработать требуемые виды управляющих воздействий, которые с помощью электронных блоков сопряжения могут быть согласованы с исполнительными механизмами станка по уровням, форме сигналов, временным параметрам и т. д. Алгоритмы управления и их программная реализация на микроконтроллере будут отличаться для каждого станка (серии станков). Предложена обобщённая структурная схема блока управления, реализующая единый подход к модернизации станков с ЧПУ.

#### Список источников

1. Антонов А.Ю., Данилаев Д.П. Модернизация станков с ЧПУ на предприятии ОПК // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова 2020. Т. 18. № 4. С. 48-56. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-4-48-56.
2. Баталин А.А., Шустов А.Б., Васильев В.В. Устройство ЧПУ Э2000CNC и комплексные системы управления станками на его базе // Инструменты, технология, оборудование. 2004. № 2. С. 61-65.
3. Панышев Н., Ялымов Д. Система числового программного управления технологическим оборудованием NC-2000 // Современные технологии автоматизации. 2002. № 3. С. 28-33.
4. Емельянов С.А. Станки с числовым программным управлением: модернизация // Главный механик. 2016. № 8. С. 10-21.
5. Емельянов С. А. Модернизация станков с ЧПУ // Главный механик. 2019. № 3. С. 12-22.
6. Босинзон М.А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования. Под ред. Б. И. Черпакова. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 192 с.
7. Митряев К.Ф., Сазонов М. Б. Изучение конструкции станка 6М13ГН1. Самара: Самар. авиац. ин-т., 1992. 16 с.
8. Платонов В.В., Майзель И.Г. Модернизация металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 2. С. 285–295. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-2-285-295.
9. Антонов А.Ю., Данилаев Д.П. Электромагнитная совместимость при модернизации станков с ЧПУ // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. № 3. С. 90-96. DOI 10.18469/1810-3189.2020.23.3.90-96.
10. Корчагин В.А., Артюшенко В.М. Проблемы электромагнитной совместимости цифрового электротехнического оборудования на промышленных и бытовых объектах // Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса. 2009. № 4. С. 95-98.
11. Юрков Н.К., Андреев П.Г., Жумабаева А.С. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2015. Т. 1. С. 201-203.

Статья поступила в редакцию 10.09.2021; одобрена после рецензирования 24.02.2022; принята к публикации 28.02.2022

#### Информация об авторах

**АНТОНОВ Аркадий Юрьевич** – ассистент кафедры электронных и квантовых средств передачи информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ. Область научных интересов – аналоговая и цифровая электроника; электроприводы станков и механизмов; лидарные системы. Автор семи научных публикаций.

**ДАНИЛАЕВ Дмитрий Петрович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электронных и квантовых средств передачи информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ. Область научных интересов – инженерно-технические и информационные автоматизированные системы мониторинга биоресурсов, биосферы и технических систем; электронные устройства, системы и связь; инженерное образование Автор 80 научных публикаций. ORCID: 0000-0001-6536-2334.

ЦАРЁВА Мария Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электронных и квантовых средств передачи информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ. Область научных интересов – особенности квазигармонических колебаний; устройства приёма и обработки радиосигналов в системах подвижной радиосвязи; устройства телевидения и видеотехники. Автор 20 научных публикаций.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Scientific article

UDC 62-529+62-519

<https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.1.81>

### A Unified Approach to the Modernization of CNC Machines

A. Ju. Antonov <sup>✉</sup>, D. P. Danilaev, M. A. Carjova

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,

10, K.Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

ayuantonov@kai.ru <sup>✉</sup>

**Keywords:** modernization of CNC machines; CNC control systems; CNC machine control scheme; manufacturing automation

#### ABSTRACT

**Introduction.** Replacing the control system is the main and most important element of the CNC machines modernization. Currently, there are many options for such upgrades. But each option differs in its technical solution regarding the implementation of the control unit itself, and the method of its subsequent interfacing with mechanical part of machine. CNC systems of various generations differ not only in the type of control signal and their levels, but also in the control method. Therefore, the control unit for modernized machine tools of different generations must work out different principles and control algorithms, as well as generate different control signals to implement the same function. The **goal** of the study is to analyze feasibility of a unified approach to the modernization of CNC machines of various generations. The following options are feasible for building a control system that implements a unified approach: 1) Digital control units, different for different machines, having one, common interface; 2) A single hardware of the digital control unit for different machines, with one common interface, but using different software implementations of control algorithms and various interface devices with the machine; 3) A single hardware part of the digital control unit for different machines with one complete software implementation of all possible control algorithms and a built-in set of interface devices for machines of all generations; and also a common interface. **Findings.** The most reasonable option for implementing a unified approach for the modernization of CNC machines has been selected. Based on the proposed approach, a prototype of a single control unit for machine tools with pulse and phase control was developed. It is based on a state-of-the-art microcontroller. This unit was used to modernize machine tools that are actively used in the technological process of machine-building enterprises. Thus, the concept of a unified approach is associated with a focus on one, the same program for performing a technological operation and the same boot file for modernized CNC machines of different generations. There is proposed a generalized block diagram of the control unit, which implements a unified approach to the modernization of CNC machines.

**Acknowledgements.** Authors thank the anonymous reviewers for their insightful comments and suggestions.

**Funding.** Research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, registration number НИОКТР АААА-А20-120102190039-6

## REFERENCES

1. Antonov A.Ju., Danilaev D.P. Modernizacija stankov s ChPU na predpriyatii OPK. [Modernization of CNC machines in a defense enterprise]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020. Vol. 18. No 4. P. 48-56. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-4-48-56. (In Russ.).
2. Batalin A.A., Shustov A.B., Vasil'ev V.V. Ustrojstvo ChPU Je2000CNC i kompleksnye sistemy upravlenija stankami na ego baze [CNC device E2000CNC and complex machine control systems based on it]. *Instrumenty, tehnologija, oborudovanie* [Tools, technology, equipment]. 2004. No 2. Pp. 61-65. (In Russ.).
3. Panyšev N., Jalymov D. Sistema chislovogo programmogo upravlenija tehnologičeskim oborudovanijem NC-2000 [Numerical control system for technological equipment NC-2000]. *Sovremennye tehnologii avtomatizacii* [Modern automation technologies]. 2002. No 3. Pp. 28-33. (In Russ.).
4. Emel'janov S.A. Stanki s chislovym programmym upravlenijem: modernizacija [Numerically controlled machine tools: modernisation]. *Glavnyj mehanik* [Chief Mechanical Engineer]. 2016. No 8. Pp. 10-21. (In Russ.).
5. Emel'janov S. A. Modernizacija stankov s ChPU [Modernization of CNC machines]. *Glavnyj mehanik* [Chief Mechanical Engineer]. 2019. No 3. Pp. 12-22. (In Russ.).
6. Bosinzon M.A. Sovremennye sistemy ChPU i ih jekspluatacija: uchebnik dlja nach. prof. obrazovanija. Pod red. B. I. Cherpakova – 2-e izd., ster. [Modern CNC systems and their operation: a textbook for the beginning prof. education. Under ed. B. I. Cherpakova – 2<sup>nd</sup> edition, ster.]. Moscow: Publishing Center "Akademija", 2008. 192 p. (In Russ.).
7. Mitrjaev K.F., Sazonov M.B. Izuchenie konstrukcii stanka 6M13GN1 [Studying the design of the machine 6M13GN1]. Samara: Samara Aviation College, 1992. 16 p. (In Russ.).
8. Platonov V.V., Majzel' I.G. Modernizacija metalloobratyvajushhih stankov s chislovym programmym upravlenijem [Modernization of metal-working cnc machine-tools]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk state technical university]. 2019. Vol. 23. No 2. Pp. 285-295. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-2-285-295. (In Russ.).
9. Antonov A.Ju., Danilaev D.P. Jelektromagnitnaja sovmestimost' pri modernizacii stankov s ChPU [Electromagnetic compatibility in cnc machines upgrade]. *Fizika volnovyh processov i radiotehničeskie sistemy* [Physics of Wave Processes and Radio Systems]. 2020. No 3. Pp. 90-96. DOI 10.18469/1810-3189.2020.23.3.90-96. (In Russ.).
10. Korchagin V.A., Artjushenko V.M. Problemy jelektromagnitnoj sovmestivosti cifrovogo jelektrotehničeskogo oborudovanija na promyšlennyh i bytovyh objektah [Digital electrical equipment in industrial buildings: electromagnetic compatibility]. *Vestnik Asociacii vuzov turizma i servisa* [Universities for Tourism and Service Association Bulletin]. 2009. No 4. Pp. 95-98. (In Russ.).
11. Jurkov N.K., Andreev P.G., Zhumabaeva A.S. Problema obespečenija jelektromagnitnoj sovmestivosti radiojelektronnyh sredstv [The problem of ensuring the electromagnetic compatibility of radio-electronic devices]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"]. 2015. Vol. 1. Pp. 201-203. (In Russ.).

The article was submitted 10.09.2021; approved after reviewing 24.02.2022;  
accepted for publication 28.02.2022

**For citation:** Antonov A. Ju., Danilaev D. P., Carjova M. A. A Unified Approach to the Modernization of CNC Machines. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2022. No 1 (53). Pp. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2022.1.81>

### Information about the authors

*Arkadij Ju. Antonov* – Assistant at the department of electronic and quantum devices of information transmission, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – analog and digital electronics, electric drives of machines and mechanisms, lidar systems. The author of 7 scientific publications.

*Dmitrij P. Danilaev* – Doctor of Technical Sciences, associate professor, the Head of the department of electronic and quantum devices of information transmission, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – engineering, technical and information automated systems for monitoring bioresources, the biosphere and technical systems; electronic devices, systems and communication; engineering education. The author of 80 scientific publications.

*Marija A. Carjova* – Candidate of Technical Sciences, associate professor, department of electronic and quantum devices of information transmission, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. Research interests – features of quasi-harmonic oscillations; devices for reception and processing of radio signals in mobile radio communication systems; television and video equipment. The author of 20 scientific publications.

**Contribution of the authors:** All authors made an equivalent contribution to the paper preparation. The authors declare that they have no conflict of interest. All authors read and approved the final manuscript.