РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Ордена Ленина Сибирское отделение
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв,
Э.Л. Неханевич

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЧПУ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА КД-46

ИЯФ 2007-23

Новосибирск
2007

Модернизация системы ЧПУ сверлильного станка КД-46

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв, Э.Л. Неханевич

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

В работе дано описание результатов модернизации СЧПУ сверлильного станка КД-46. Реализована концепция максимального использования ресурсов персонального компьютера (ПК), что позволило существенно упростить электронику управления. Значительно переработана силовая часть – электроприводы шаговых двигателей. Расчет динамики и траектории управления приводами реализованы программно средствами ПК. Аппаратная часть обеспечивает сопряжение между компьютером и приводами и представляет собой элементарную логику в совокупности с интерфейсом связи системы ДОЗА [1].

Ресурсы ПК позволили реализовать новые возможности СЧПУ, такие как тестирование и контроль оборудования, набор статистики по сбоям и ошибкам, а также просмотр статистики в удобном графическом представлении. Контролируется ошибка вращения вала ШД с точностью 2 шага (шаг = 5 мк), точность позиционирования рабочего стола контролируется с гарантированной точностью 5 шагов или 25 мк, что в большинстве случаев достаточно для изготовления печатных плат, используемых в нашем производстве. Основные результаты модернизации – существенное повышение надежности и точности работы станков. Развитые средства тестирования и контроля позволяют предотвратить ошибки в работе, правильно настроить систему, что обеспечивает высокую эффективность эксплуатации станков.

Программное обеспечение рассчитано на общепринятый формат файлов сверловки – формат Excellon II [2], который поддерживается всеми производителями САПР. Это позволяет обойтись без лишних преобразований файлов, и тем самым избежать дополнительных ошибок.

© Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

1. Введение

Модернизация системы ЧПУ станка КД-46 выполнялась в несколько этапов. Вначале электроника станка была заменена управляющей микроЭВМ, сопряженной с крейтом КАМАК, а силовые приводы шаговых двигателей – блоками приводов (ПШД5) в конструктиве ВИШНЯ [3]. Затем управляющая микроЭВМ была подключена к локальной сети микроЭВМ и системе хранения данных, что позволило избавиться от перфоленточного оборудования. Замена управляющей микроЭВМ на персональный компьютер типа IBM PC AT (ПК) стала следующим шагом.

Новый этап модернизации обусловлен двумя факторами.

1. К настоящему времени блоки ПШД5 морально и физически устарели, и создают проблемы при эксплуатации. Новый блок электропривода ЭШД5, выполненный на базе современных силовых компонентов и программируемой логики (ПЛИС), обеспечивает более высокую надежность, увеличение скорости перемещения стола и, в конечном счете, более высокие точность и производительность.

2. Применение в качестве управляющей ЭВМ современного ПК позволяет программно решать все задачи расчета траектории и динамики перемещения рабочего стола и шпинделей, вследствие чего можно отказаться от использования аппаратуры КАМАК, оставив только электронные блоки, реализующие простейшую логику. Программный доступ ко всем органам управления и контроля станка позволил упростить некоторые процедуры управления (например, выход в ноль станка), а также наделить СЧПУ новыми, недоступными ранее возможностями.

Особое внимание было уделено определению технических характеристик станка и его состояния. Возросшая плотность монтажа элементов на печатных платах требует выработки критериев и способов оценки технического состояния станков. Появилась необходимость в разработке алгоритмов тестирования и контроля станка для проведения своевременной профилактики.

Основным параметром для оценки состояния станка была выбрана точность позиционирования рабочего стола. Для автоматизации процесса контроля точности позиционирования стола (в момент запуска СЧПУ и в

ходе работы) был проведен анализ точности срабатывания концевых выключателей (в первую очередь штатных концевых выключателей ПИЩ-6-1 или КВД-6М), которые служат привязкой к координатам станка и позволяют контролировать точность работы. Как показали результаты испытаний, при выполнении определенных условий управления станком, например, выход в точку срабатывания концевого выключателя всегда на одинаковой (и небольшой) скорости, концевые выключатели этого типа обеспечивают требуемую точность.

В итоге, первым шагом модернизации стала разработка тестовых программ, которые помогли определить технические параметры, как концевых выключателей, так и механики станка. Впоследствии эти тесты дополнили набор программных средств оператора по контролю состояния системы управления станком для обнаружения потенциальных источников ошибок. Выработаны и программно реализованы алгоритмы определения работоспособности элементов СЧПУ. Эти же алгоритмы позволяют выявить несоответствия требованиям регулировки механики станка и т.д. Пошаговый контроль срабатывания концевых выключателей во время работы станка позволил вести набор статистики по координатам срабатывания; специально созданы программные средства для визуального представления накопленных результатов.

Концепция максимального использования средств ПК и локальной сети (от загрузки управляющей программы с файлового сервера до управления каждым шагом двигателей системы) потребовала разработки программного обеспечения реального времени, так как СЧПУ сверлильного станка является системой жесткого реального времени. Для управления каждым шагом двигателей на максимальной скорости шаговых двигателей (16 000 шагов в секунду) необходимо формировать интервалы времени в 62.5 мкс. Для таймирования системы был использован встроенный в материнскую плату таймер, реализованный на микросхеме 8254 и присутствующий на всех ПК типа IBM PC. Точности установки частоты формирования команд шагов (на 16 000 шагов в секунду погрешность не больше 1.4%) достаточно для управления станком. Разгон и торможение осуществляются при строгом временном контроле, исключающем механические удары и потерю шагов шаговыми двигателями.

Электропривод ЭШД5 позволяет работать в режиме дробления шага на четыре. При этом полный шаг двигателя (1,5º) производится за 4 дробных шага. Для поддержки этого режима программным обеспечением был автоматизирован процесс определения режима, установленного на приводе, и автоматического изменения геометрических и динамических параметров работы станка.

2. Структура приводов рабочего стола станка

2.1. Кинематическая схема привода рабочего стола КД46 и расположение концевых выключателей

В приводе стола станка используются шаговые двигатели (ШД) ШД5. В СЧПУ станка ДК46 используется двенадцатитактная схема коммутации фаз шагового двигателя. Без дробления 1 шаг двигателя соответствует 1.5º, т.е. один оборот вала ШД происходит за 240 шагов. Стол приводится в движение с помощью шариковой винтовой передачи (рис. 1) (ШВП)-винт-гайка качения (ВГК) с шагом t = 5 мм (стол перемещается на 5 мм за один оборот винта ШВП ВГК). На винт вращение передается через редуктор с зубчатой передачей с передаточным числом i = 18/75 (18 оборотов винта соответствует 75 оборотов вала шагового двигателя или 240 шагов без дробления). Таким образом, один оборот винта ШВП выполняется за (240•75)/18 = 1000 шагов ШД и соответствует перемещению стола на 5 мм. Концевые выключатели расположены на столе станка, а также на винтах ШВП. Один шаг ШД соответствует 5 мкм смещения флажка концевого выключателя (стола) относительно станины станка, а флажок концевого выключателя на винте ШВП за 1 шаг ШД в рабочей зоне концевого выключателя смещается примерно на 0.3 мм.

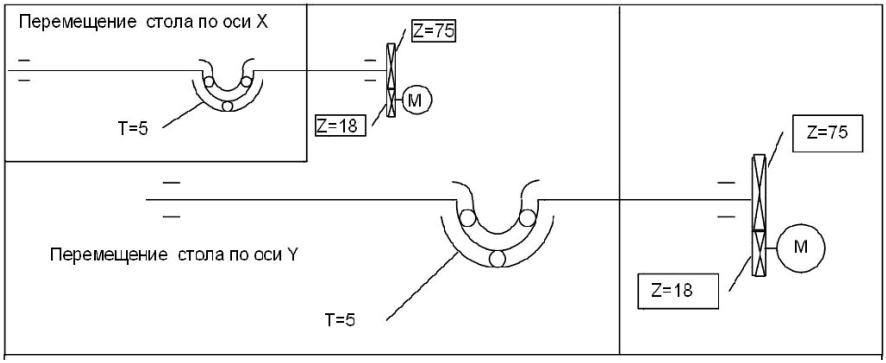


Рис. 1. Схема кинематическая привода рабочего станка КД46.

2.2. Электропривод ШД-5

2.2.1. Параметры шагового двигателя ШД-5

В качестве перемещающих устройств в станке КД-46 используются шесть 6-фазных шаговых двигателей типа ШД-5Д1МУЗ. Недостатком таких двигателей является сложность реализации управляющего привода (силовая часть привода представляет собой шестиканальный усилитель мощности). Однако замена двигателя не представляется возможной ввиду отсутствия конструктивно-сопоставимого аналога как на отечественном рынке, так и на

зарубежном. К тому же у ШД-5 есть несомненное преимущество – превосходная динамика (рис. 2), которая определяет производительность станка. Поскольку ШД-5 не представляет дефицита на российском рынке (данный двигатель до сих пор выпускается заводом-изготовителем), модернизация механической части станка не предполагалась.

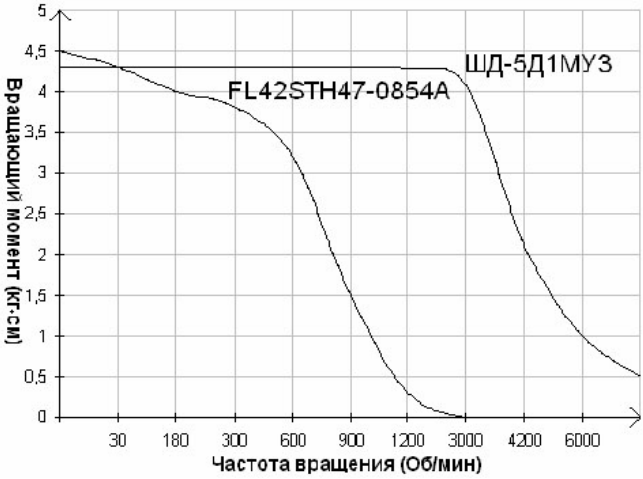


Рис. 2. Частотная зависимость вращающего момента двигателя ШД-5 и аналогичного двигателя зарубежного производства.

2.2.2. Обзор устройств управления ШД-5

Первоначально станок КД46 был укомплектован силовыми приводами для управления ШД-5, выполненными по релейной схеме с использованием токоограничивающих резисторов. Такая электроника не могла обеспечить долговременную надёжность работы станка из-за избыточного тепловыделения при работе на низких скоростях и остановках. Поэтому в 70– 80-е годы прошлого века в ИЯФ были разработаны приводы шаговых двигателей (ПШД5 и ПШД5/80) с мостовой схемой включения обмоток. Здесь уменьшение тепловыделения в статическом режиме достигнуто использованием низковольтного источника напряжения в качестве буферного питания двигателя (вместо токоограничивающих резисторов). Для обеспечения нужной динамики использовалось повышенное форсажное напряжение. Несомненно, данная разработка повысила надёжность работы станка, однако и такой привод оказался не лишён недостатков, вызванных использованием двух напряжений питания двигателя. К тому же в настоящее время элементная база ПШД5/80 морально устарела, из-за чего возникли сложности в дальнейшей эксплуатации этого оборудования. Накопленный опыт позволил в 2002 году разработать новый электропривод шагового двигателя (ЭШД5) с ШИМ-регулированием тока в фазах двигателя [4].

2.2.3 Устройство ЭШД5

ЭШД5 управляет одним двигателем типа ШД-5. Привод включает в себя контроллер, реализованный на программируемой логике, и шестиканальный усилитель мощности для импульсного управления током в обмотках двигателя. Силовая часть привода выполнена на современных MOSFET транзисторах, что позволяет уменьшить тепловые потери.

Возможности программируемой логики позволили подобрать оптимальный алгоритм управления двигателем. Так, в отличие от предшествующих приводов в ЭШД5 появились дополнительные режимы:

1. Режим работы с дроблением шага двигателя на четыре. Этот режим позволяет уменьшить дискретность шага, избавиться от резонансных явлений на низких частотах, а также делает перемещение плавным, что благотворно влияет на механику системы. Данный режим выбирается перемычкой (джампером) X2. При этом установленная перемычка соответствует работе без дробления.
2. Режим снижения токов в фазах двигателя при остановке. Поскольку для удержания требуется заведомо меньший момент, нежели для разгона, то появляется возможность уменьшения токов в статическом режиме. Практика показала, что целесообразно уменьшать токи вдвое. При этом момента двигателя достаточно для удержания, а тепловые потери уменьшаются в 4 раза. Выбор данного режима производится перемычкой X3. Установленная перемычка соответствует работе без снижения токов в статическом режиме.
3. Режим автоматического обесточивания двигателя в отсутствие сигналов управления в течение 10 с. Поскольку в рабочем режиме станка КД46 паузы с удержанием, возникающие при сверлении, менее десяти секунд, на работу станка этот режим влияния не оказывает. Зато в режиме ожидания экономятся ресурсные показатели двигателя. В электроприводе предусмотрено оповещение управляющей ЭВМ об обесточивании двигателя. Установленная перемычка X1 соответствует работе без обесточивания.

Расположение перемычек внутри блока ЭШД5 показано в Приложении.

2.2.4 Управление ЭШД5

В блоке ЭШД5 предусмотрено автоматическое и ручное управление. Режим автоматического управления (от ЭВМ) реализуется двумя командами: ШАГ+ и ШАГ–. На каждый управляющий импульс двигатель делает 1 шаг (1.5º без дробления или 0.375º с дроблением на четыре) против часовой стрелки (ШАГ+) или по часовой (ШАГ–). Причём командой перемещения служит переход управляющего импульса. Рекомендуется формировать управляющие импульсы длительностью не менее 5 мкс, амплитудой 5 В. В

ЭШД5 предусмотрена гальваническая развязка управляющих сигналов ШАГ+ и ШАГ – (рис. 3,а).

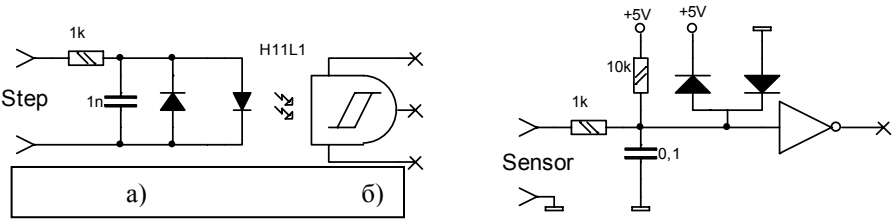
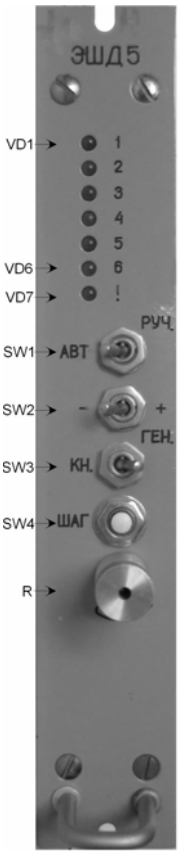


Рис. 3. Вход ШАГ – а, ШАГ, вход концевик – б.

Кроме управления ШАГ+ и ШАГ– в ЭШД5 имеются информационные входы концевых датчиков: КОНЦЕВИК+ и КОНЦЕВИК–. В качестве концевых датчиков предполагалось использовать как кнопочные датчики, так и специальные, имеющие гальваническую развязку на выходе. Поэтому за основу управления было выбрано следующее: при замыкании контактов датчика блокируется движение в соответствующем направлении. Для исключения ложного срабатывания концевого датчика в ЭШД5 применён цифровой фильтр, задержка которого составляет 3 шага. Входы от концевых датчиков не имеют гальванической развязки (см.рис. 3, б).



Для возможности тестового управления двигателем без привлечения ЭВМ в ЭШД5 предусмотрено ручное управление. Выбор ручного управления осуществляется переключателем SW1 (рис. 4). Переключатель SW2 задаёт направление движения. Переключателем SW3 выбирается управление от встроенного генератора или от кнопки SW4. При управлении от кнопки одно нажатие соответствует одному шагу в выбранном направлении. При управлении от генератора скорость движения задаётся ручкой R.

В ЭШД5 имеется панель светодиодной индикации. Индикаторы VD1–VD6 информируют о токе в каждой из фаз двигателя. Индикатор VD7 информирует о сбое в работе привода.

Рис. 4. Переключатели ручного управления привода.

2.2.5. Дробление шага на четыре

Погрешность отработки шага двигателем ШД-5 составляет не хуже чем 27′ (это примерно ¼ от шага 1,5º), потому имеет смысл дробить шаг не более чем на четыре. Дробление даёт возможность уменьшить шаг дискретизации двигателя, повысив тем самым точность сверловки на станке КД46. На практике далеко не всегда удаётся получить улучшение точности в 4 раза. Это связано с тем, что момент дробного шага в 4 раза меньше, чем момент основного, и при больших нагрузках на ротор двигателя “дробного момента” недостаточно для перемещения на дробный шаг. При этом геометрическое положение ротора может отставать от заданного положения на несколько дробных шагов [5]. Однако основным преимуществом дробления является демпфирование резонансных возбуждений ротора двигателя. Ввиду инерционных свойств нагрузки на малых скоростях вращения двигателя присутствуют паразитные колебания, которые могут привести к потере шага на соответствующих резонансных частотах (рис. 5). На практике наблюдались резонансные возбуждения на частоте вращения двигателя примерно 30 об/мин. При включении дробления на той же частоте возбуждения становились практически незаметными.

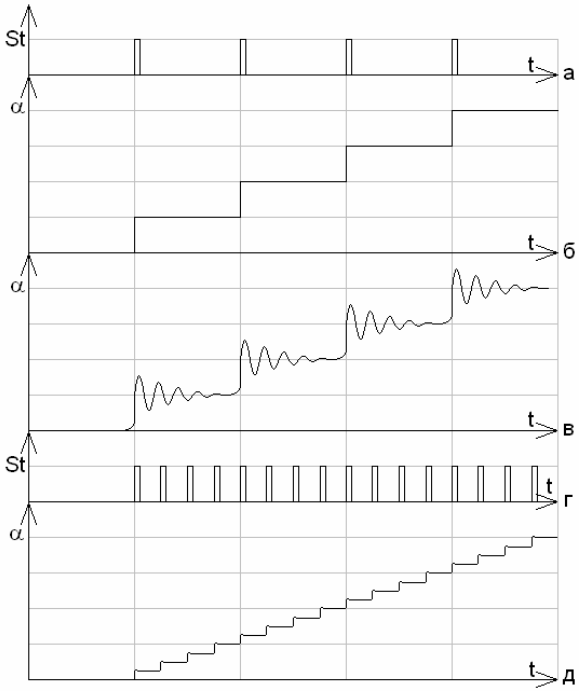


Рис. 5. Сигнал управления ШАГ (без дробления) – а, положения ротора от времени для идеального шагового двигателя – б, положение ротора от времени при наличии инерции (без дробления) – в, сигнал управление шаг (с дроблением на четыре) – г, положение ротора от времени при наличии инерции (с дроблением на четыре) – д.

3. Программное обеспечение ПК

3.1 Функции, выполняемые программными средствами ПК

До модернизации роль персонального компьютера ограничивалась формированием из управляющей программы (файл сверловки) координат точки назначения, начальной скорости, скорости изменения частоты и времени ускорения–замедления рабочего стола. Эта информация передавалась в модули стандарта КАМАК [3]. Далее аппаратными средствами в определенные моменты времени формировались команды шагов приводам ШД. Таким образом, динамика движения приводов реализовывалась аппаратными средствами.

Теперь каждый шаг ШД управляется программно, т.е. в режиме реального времени средствами ПК рассчитываются и передаются в приводы ШД команды шагов. При этом были решены следующие задачи:

1. расчет траектории движения (по какой оси координат и в каком направлении делать шаг);
2. расчет времени выдачи последующего шага, то есть скорость и ускорение движения привода;
3. наделение функций управления приводами наивысшим приоритетом, чтобы выдача команды шага происходила как можно ближе к расчетному моменту;
4. таймирование. Требуется точное формирование интервала между шагами ШД (62,5 мкс, с точностью дискретизации не хуже 10 мкс), с возможностью перепрограммирования таймера на каждом шаге.

Расчет траектории был усложнен тем, что интерполяция должна производиться как можно быстрее. Последующий шаг должен быть рассчитан (сформированы данные для посылки в привода) между посылкой шагов, любая задержка вызовет «потерю шага» ШД. На максимальных скоростях это время порядка 62,5 мкс. Одновременно производится анализ состояния концевых выключателей, принимаются команды от оператора, выводится информация для оператора, происходит расчет скорости нового шага, перепрограммирование таймера и т.д. С учетом того, что передача команды и прием состояния концевых выключателей занимает порядка 10 мкс [1], на расчет остается мало времени. Для интерполяции был выбран алгоритм цифрового дифференциального анализатора ЦДА, в нем нет операций умножения и деления, используются только операции сравнения, сложения и вычитания, и поэтому итерации производятся быстро.

Для расчета динамики движения приводов был выбран линейный закон изменения ускорения и торможения, соответственно частота шагов изменяется линейно, хотя вычислительные мощности современных ПК позволяют реализовать практически любой способ изменения динамики приводов, например, можно уменьшить ускорение на больших скоростях.

Третий и четвертый пункты в списке – задачи, характерные для системы реального времени. Поэтому потребовалась операционная система реального времени. Выбор пал на ОС DOS в силу ее простоты и отсутствия ограничений на использование ресурсов ПК и управление ими. Строго говоря, DOS не является системой реального времени, но использование системы прерываний и возможность блокировать выполнение некоторых операций, которые не совместимы с работой в реальном времени (например, дисковые операции) с некоторыми ограничениями функциональности этой операционной системы, позволили создать систему реального времени с дискретизацией лучше 10 мкс. Для управления системой в реальном времени используется таймер на микросхеме 8254, точнее, нулевой канал этого счетчика-таймера. Для реализации линейного ускорения/торможения приращение частоты генерации таймером прерываний между последовательными шагами ДШ рассчитывается как $\Delta F = A/F$, где A – требуемое ускорение, F – текущая частота. При управлении шаговыми двигателями необходима плавность разгона и торможения. Отдельно рассматривается момент старта, когда приведенная выше формула не работает, так как текущая частота нулевая. Для предотвращения «потери шага» ШД нужно ограничивать первоначальное значение частоты. Для этого среди параметров управления системой предусмотрен параметр «стартовая скорость», и программа отслеживает, чтобы в любом режиме приращение частоты не превышало эту величину.

3.2. Управление процессом сверления

Интерфейс пользователя программы содержит пункты меню, которые дают возможность запускать тесты, указывать набор тестов, выполняемых при запуске программы, управлять процессом сверления: выбирать файл управляющей программы, указывать диаметр сверла, менять скорость подачи сверла. Также можно приостанавливать выполнение программы, делать коррекцию на положение платы и т.д. На экран выводится количество отверстий данного диаметра и сколько из них просверлено, текущее положение, рабочий шпиндель, состояние концевых выключателей и т.д.

С помощью системы меню можно менять настройки и параметры самой системы ЧПУ. Есть возможность изменить стартовую скорость, скорость перемещения между отверстиями, ускорение разгона и торможения. Геометрические параметры позволяют легко настроить программу под определенный станок: задать взаимное расположение шпинделей, координаты ноля платы относительно ноля станка, определяемого по концевым выключателям, задать коррекцию на растяжку, поворот и смещение платы. Новым стал подход к разбиению рабочего поля по шпинделям. Поля, доступные шпинделям, перекрываются и дают возможность делать небольшие коррекции во время работы. Задаются основные корректоры, по которым происходит распределение отверстий по шпинделям, а дополнительные корректоры не мо-

гут изменить принадлежность отверстия к шпинделю, это исключает повторное сверление и пропуск отверстия.

4. Результаты

Измерения позволили оценить не только точность позиционирования стола станка, но и погрешность, с которой возможно контролировать работу шаговых двигателей и наличие люфтов в механике привода стола. На рис. 6 показана гистограмма координат переключения концевого выключателя, размещенного на винте ШВП оси X. Видно, что координату точек переключения мы можем контролировать с погрешностью в 2 шага, например, производя выход в ноль станка. Для координаты Y испытания показали еще большую стабильность. Эти результаты означают, что штатные датчики оборота ходовых винтов позволяют обнаруживать пропуски шагов шаговым двигателем с точностью в 2 шага ШД (10 мк), чего вполне достаточно для контроля работы шаговых двигателей.

При использовании режима дробления на четыре была получена погрешность выхода в ноль, равная двум шагам. С учетом того, что при дроблении шаг равен четверти нормального шага, получаем, что точность установки винта ШВП при выходе в ноль станка в 2 раза точнее, так как без режима дробления на четыре была получена погрешность в 1 шаг.

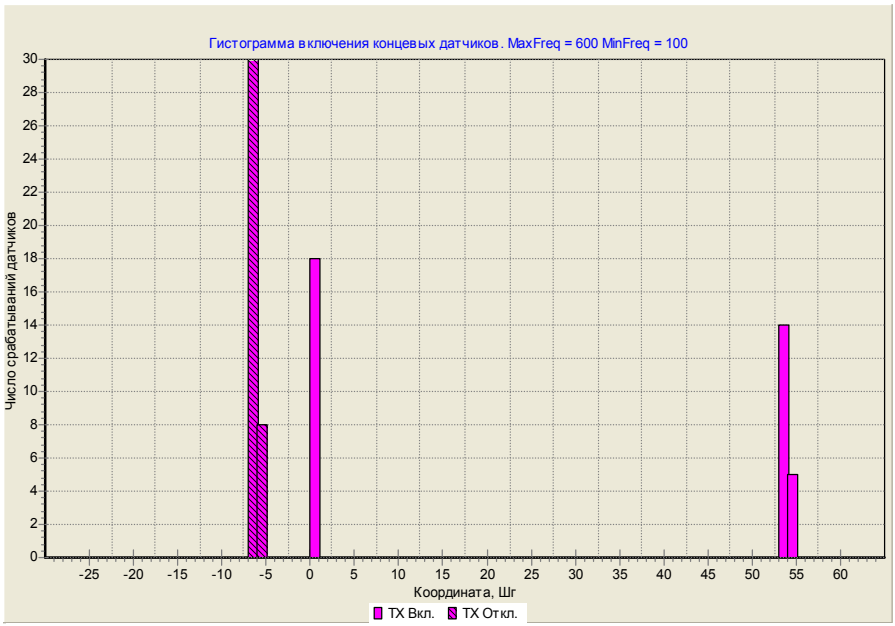


Рис. 6. Гистограмма точек переключения концевого выключателя ШВП оси X.

Статистические данные по срабатыванию концевых выключателей, установленных на винтах ШВП, без дробления шага на четыре и с использованием режима дробления на четыре показаны на рис. 7 и 8. Реальная скорость перемещения стола станка одинакова, при использовании режима дробления шага на четыре команды шагов посылаются в 4 раза чаще. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что погрешность определения координаты срабатывания концевика, расположенного на винте ШВП, в режиме дробления на четыре меньше в 3 раза, чем в обычном режиме работы.

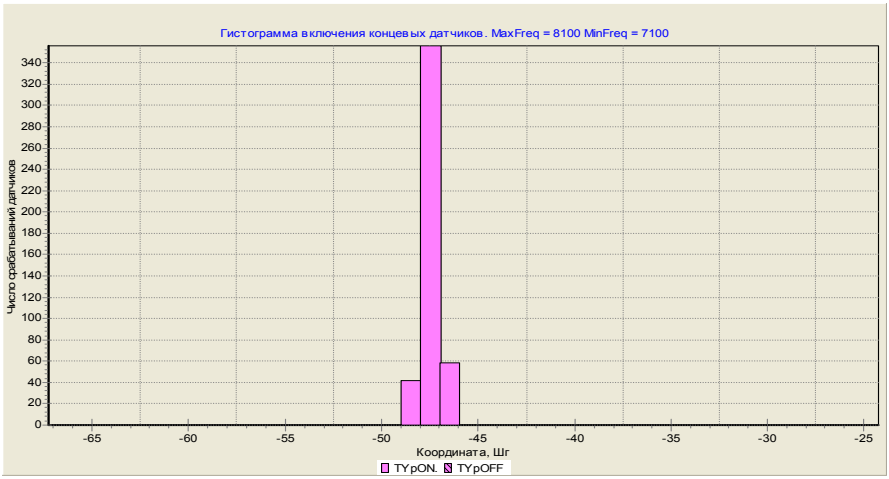


Рис. 7. Гистограмма работы концевика вала ШВП без дробления шага.

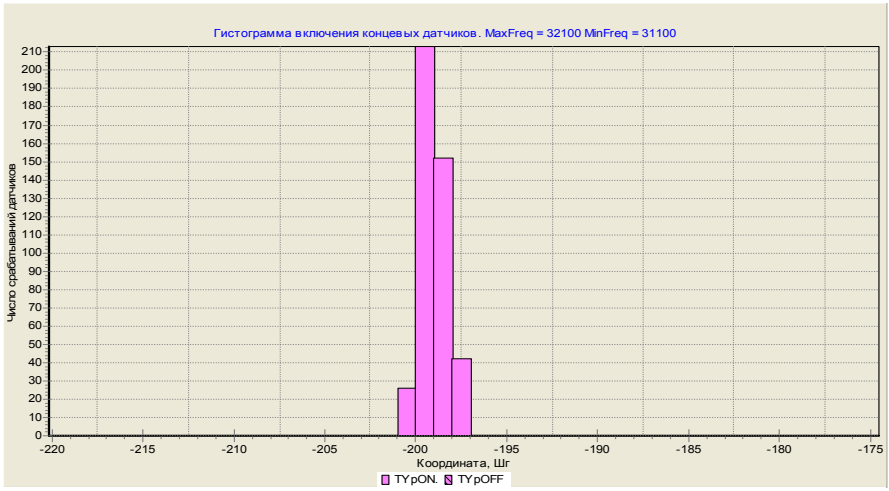


Рис. 8. Гистограмма работы концевика вала ШВП, дробление шага на 4.

Разброс точек срабатывания при включенном режиме дробления на четыре – четыре четвертных шага (один полный), в обычном режиме - 12 четвертных шагов (три полных). Тот факт, что разброс координат переключения концевика в режиме дробления укладывается в один полный шаг, чего не было в обычном режиме работы, позволяет сделать предположение что, в режиме дробления шага на четыре уменьшаются паразитные колебания в механике станка, и соответственно уменьшается раскачка флажка датчика при отработке шага двигателем. Это дает возможность более точно контролировать положение винта ШВП, определять источник люфтов в приводе рабочего стола и, в конечном итоге, более точно позиционировать инструмент.

В свою очередь концевые датчики стола позволяют судить о точности позиционирования самого стола. Анализ датчиков позволяет утверждать, что стол устанавливается с погрешностью в 5 шагов, соответственно и датчики срабатывают с погрешностью не больше 5 шагов. Это означает, что есть возможность обнаружить люфт, если он превышает 5 шагов двигателя, то есть 25 мк. Такой точности достаточно для большей части решаемых задач.

Таким образом, результатом модернизации стали улучшение технических характеристик станка, новые возможности по настройке и управлению станком, а также мощные средства тестирования и контроля работы станка.

5. Заключение

Описанный в данной работе этап модернизации сверлильного станка КД-46 позволяет надеяться на развитие концепции максимального использования ресурсов ПК в управлении физическими установками. Планируемым продолжением идеи видится использование операционных систем семейств Windows и Linux. Предполагается, что операционная система Windows может быть пригодна для систем не требующих реального времени (скорости до 1 000 шагов в секунду), а операционную систему Linux планируется использовать с расширением реального времени, которое позволяет получить систему жесткого реального времени, временные параметры которой определяются быстродействием ПК.

Литература

[1] *Неханевич Э.Л.* Применение системы передачи данных ДОЗА в условиях промышленного производства. – Препринт ИЯФ 2002-61, Новосибирск, 2002.

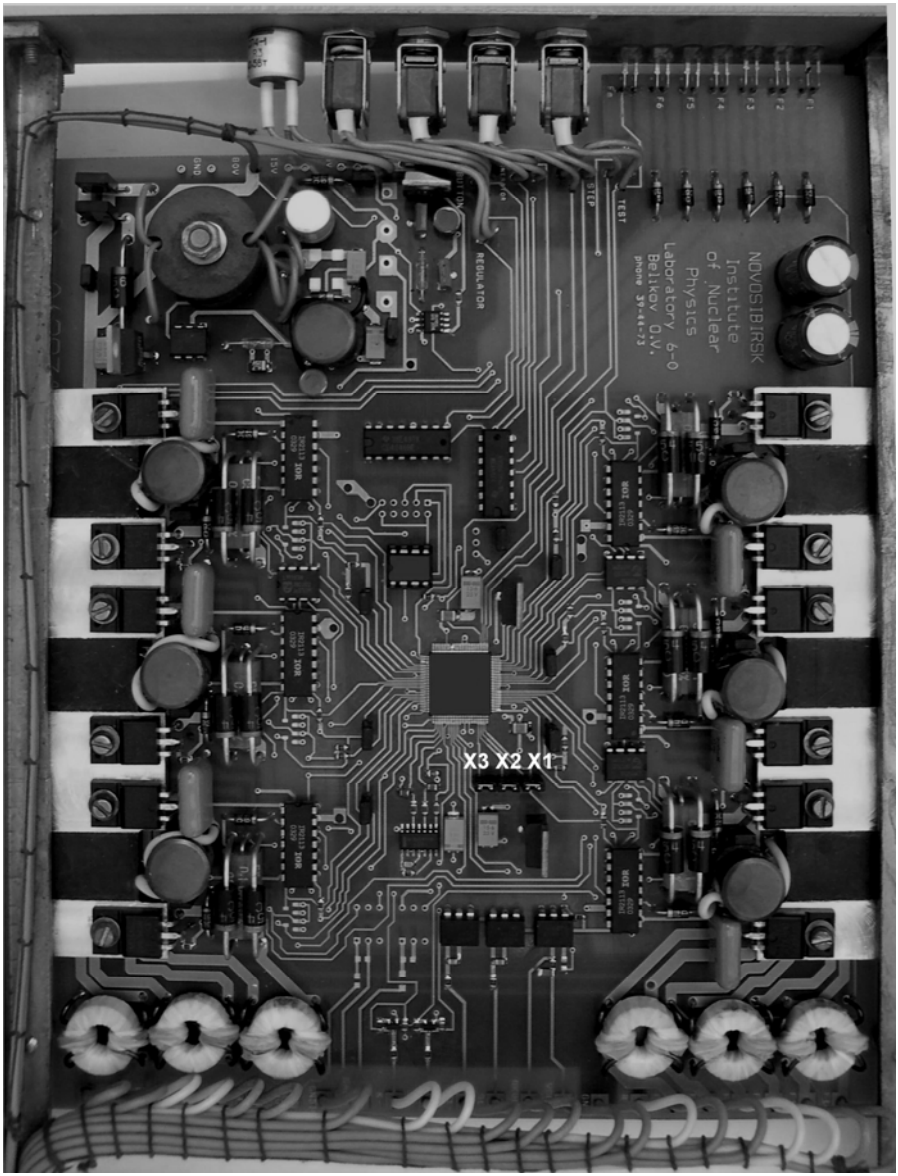
[2] http://www.excellon.com/manuals.htm

[3] *С.В. Кротов*. Блоки управления шаговыми двигателями в стандарте КАМАК. Препринт 82-99. ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 1982.

[4] *О.В. Беликов, Э.Л. Неханевич, Ш.Р. Сингатулин*. Электропривод для шагового двигателя ШД5. Препринт 2002-66 ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск.

[5] *В.Ф. Гумен, Т.В. Калининская.* Следящий шаговый двигатель. Издательство «Энергия», Новосибирск, 1980.

Приложение


X3 X2 X1
NOVOSIBIRSK
Institute
of Nuclear
Physics
Laboratory 6-0
Belkov O.V.
REGULATOR
TEST
STEP

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв, Э.Л. Неханевич

Модернизация системы ЧПУ сверлильного станка КД-46

O.V. Belikov,V.A Zhuravlev, E.L. Nekhanevitch

Modernization of drill machine's KD-46 CNC system

ИЯФ 2007-23

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев
Работа поступила 16.07. 2007 г.

Сдано в набор 17.07. 2007 г.
Подписано в печать 18.07. 2007
Формат 60x90 1/16 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.
Тираж 110 экз. Бесплатно. Заказ № 23

Обработано на IBM PC и отпечатано
на ротапринте "ИЯФ им. Г.И. Будкера" СО РАН
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11