

## СИСТЕМЫ ЧПУ SINUMERIK 840D SOLUTION LINE: КОМПЕНСАЦИЯ ОШИБОК, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПРОИЗВОДСТВА

А.С. Кудинов (ООО "Сименс")

Представлена система ЧПУ Sinumerik 840D solution line, разработанная компанией Siemens. Рассмотрены ее архитектура, программные и аппаратные преимущества. Особое внимание уделено возможностям системы управления по компенсации ошибок (ошибок измерительной системы, компенсации трения, температурной компенсации, нейронной компенсации квадратичных ошибок и др.), направленных на улучшение качества изготавливаемой продукции.

Ключевые слова: компенсация, системы числового программного управления, предупредительное, диагностика, модель.

### Введение

Системы числового программного управления (СЧПУ) прошли небольшой путь эволюции по историческим меркам, это примерно 40...50 лет, но за этот период объединили все передовые технологии, применяемые для решения сложнейших задач производства. Каждая функция современной СЧПУ несет частичку инновации. Наиболее важные функции СЧПУ будут рассмотрены в статье.

Начнем описание с показателей точности и жесткости станка. Специалисты знают, что обеспечить высокую точность и жесткость станка очень сложно, эти характеристики могут меняться со временем, что может привести к нежелательным результатам при производстве изделия. Например, попытавшись отфрезеровать обычный цилиндр радиусом 20 мм, то есть запрограммировав круг, на детали получаем овал — брак (рис. 1).

Проблема заключается в том, что все функции и язык программирования подходят к идеальному станку, станку без погрешностей. И, если система управления не способна компенсировать ошибки, результат работы всех функций будет неверным. При этом не стоит забывать и о влиянии человеческого фактора на производственный процесс.

Рассмотрим способы, позволяющие компенсировать ошибки, влияющие на производство, на примере системы ЧПУ Sinumerik 840D solution line.

### Sinumerik 840D solution line

СЧПУ Sinumerik 840D sl (рис. 2) имеет модульную масштабируемую структуру, включающую:

- панель оператора, которая может напрямую подключаться к ЧПУ или работать через промышленный компьютер;
- привод нового поколения Sinamics<sup>1</sup>, унаследовавший преимущества старых моделей приводов (Simodrive, MasterDrive), включая возможности быстрой пуска-наладки и гибкой настройки с помощью утилиты Starter;
- блок ЧПУ с открытой архитектурой, способный решать широкий круг производственных задач;

<sup>1</sup> Агафонов А.Н. Новые разработки и опыт применения интеллектуальных приводов концерна Siemens // Приводная техника. 2008. №4(73) август.

- двигатели производства Siemens.

Все перечисленные блоки соединяются с помощью интерфейсов ProfiBus, ProfiNet, Industrial Ethernet и Drive-Cliq, которые имеют высокую помехозащищенность и работают по протоколам реально-го времени.

Каждый блок имеет собственное ПО: для панели оператора — НМІ (Human Machine Interface), для привода — внутренняя прошивка, а для СЧПУ — уникальное ПО, надстроенное над ОС РВ.

### Компенсация ошибок первого и второго рода

Аппаратно-программное обеспечение СЧПУ позволяет компенсировать ошибки, которые условно можно разделить на ошибки первого и второго рода.

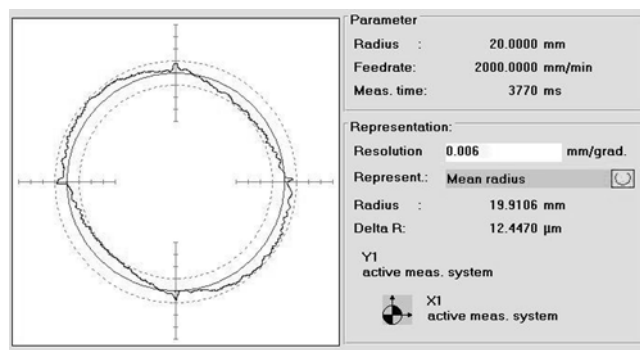


Рис. 1



Рис. 2

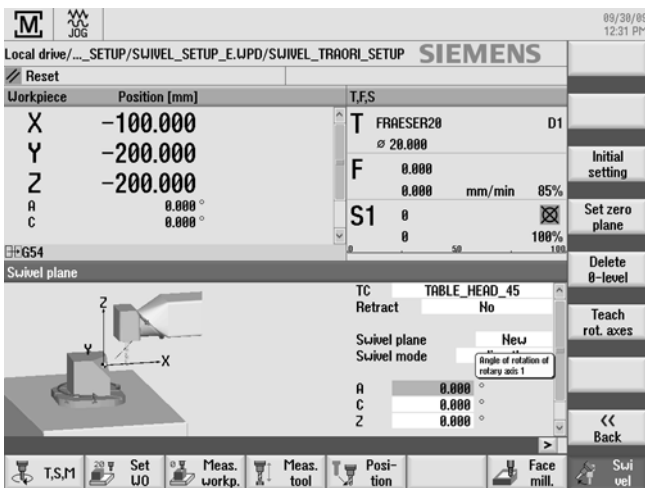


Рис. 3

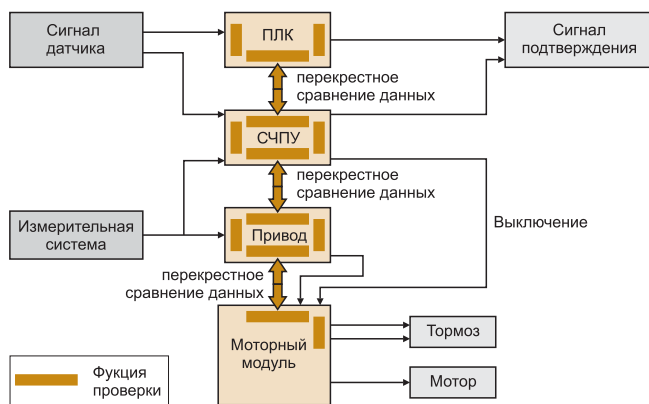


Рис. 4

Ошибки второго рода – погрешности, вызванные влиянием человеческого фактора. Существует два способа устранения такого рода ошибок: уменьшение влияния человека на процесс производства и упрощение взаимодействие человека с СЧПУ.

Для упрощения процесса взаимодействия оператора с ЧПУ Sinumerik 840D sl имеет ряд оболочек HMI, что позволяет сделать работу оператора удобной и интуитивно понятной. Это, например, пакеты для токарной обработки ShopTurn, фрезерной обработки ShopMill, произвольного типа обработки HMI Advanced и новый продукт Sinumerik Operate (рис. 3), позволяющий использовать преимущество каждой из этих оболочек.

При этом оболочки HMI имеют открытую архитектуру, что позволяет разработчику внедрять свои маски для каждого ТП. Например, в оболочку HMI Advanced может быть внедрено внешнее ПО для встраивания телесервиса при работе с видеоаппаратурой, драйверов для работы с инструментарием лазерного контроля, 3D измерений, контроля инструмента и процесса и др. Используя средства программирования C++, Assembler и др., можно разрабатывать и внедрять свои элементы.

Система ЧПУ Sinumerik 840D sl имеет ряд решений и для уменьшения влияния человека на ТП в слу-

чае высокоточного производства или в условиях гибких производственных линий.

Первое из этих решений – использование роботов. Система управления имеет математический аппарат для описания и подключения роботов любых конфигураций, например, осуществляется управление манипулятором робота на основе кинематической трансформации с возможностью шестиосевой интерполяции. Такие решения применяются в различных странах мира при производстве машин и авиатехники.

Второе решение – использование универсальных станков ЧПУ для нескольких операций. В этой области система управления Sinumerik позволяет управлять ≤ 31 осью, и при этом в системе может быть ≤ 10 шпинделей, обеспечиваться 3/5 осевых трансформаций. Система имеет 10 каналов и 10 ГРП (групп режимов работы), что позволяет, например, подключить 10 токарных станков к одной системе Sinumerik 840D sl и параллельно изготавливать 10 разных деталей, работая в разных режимах JOG, MDA, AUTO.

При этом все же не исключены случаи нарушения условий эксплуатации станка, описанные производителем, что приводит к повреждению станка и травмам. Поэтому Sinumerik 840D sl и привод Sinamics имеют функцию безопасности Safety Integrated, основная задача которой – проверять состояние периферии и сравнивать ее с математической моделью (рис. 4), заложенной производителем. В результате при возникновении аварийных ситуаций Safety Integrated блокирует работу станка и выдает сообщение об ошибке.

Все эти функции системы управления позволяют компенсировать ошибки второго рода.

Ошибки первого рода – это погрешности в точности работы станка: отклонения от идеальной геометрии, ошибки в передаче усилий, в измерительных системах, перепады температур при обработке больших деталей и др.

Устранение ошибок первого рода позволит привести станок с погрешностями к идеальному станку. Рассмотрим ошибки первого рода, которые система управления способна компенсировать.

#### Компенсация ошибок первого рода

**Температурная компенсация.** Из-за теплового воздействия от приводов или окружающей среды возникает процесс расширения станины и деталей станка, что приводит к изменению фактической позиции отдельных осей, а это плохо сказывается на точности обрабатываемых деталей.

Температурная компенсация достигается путем установки дополнительных температурных сенсоров для регистрации профилей температуры. В процессе обработки изделия на станке сенсоры опрашивают различные части станка, и в результате строятся кривые, отражающие температурные погрешности для различных блоков станка (рис. 5). Далее эти данные

передаются в систему управления, которая обрабатывает компенсацию позиции осей.

**Компенсация люфта.** При передаче усилия между подвижной деталью станка и ее приводом, например в шариковинтовой паре, как правило, возникают небольшие люфты, так как следствием полностью беззазорной установки механики был бы слишком высокий износ станка. Люфт также может возникнуть между станком и измерительной системой.

В результате у осей/шпинделей, использующих косвенную систему измерения, механический люфт является причиной отклонения от корректного пути перемещения на величину люфта. При этом существуют два варианта люфта (рис. 6):

- положительный, когда фактическое значения датчика опережает действительное значение (стол);
- отрицательный, когда действительное значение (стол) опережает фактическое значение датчика.

Измерив величину люфта можно внести значение поправки в систему управления и тем самым компенсировать люфт

**Интерполяционная компенсация** включает: компенсацию погрешности ходового винта и компенсацию провисания.

**Погрешность ходового винта** связана с тем, что шаг шариковинтовой пары является величиной непостоянной, и это приводит к ошибкам при позиционировании осей. Также большое влияние на этот процесс могут привести ошибки измерительной системы. Для компенсации этих воздействий производят измерение винта, полученные результаты вводятся в систему управления в виде таблицы с параметрами, по которым строятся кривые (рис. 7). При этом данный процесс можно проводить для каждой измерительной системы.

**Компенсация провисания** — это компенсация угловых и линейных перемещений, вызванных весом отдельных частей станка и весом детали. При этом система управления имеет функцию, реализующую VCS компенсацию объемного провисания, что позволяет минимизировать ошибки положения осей. Это осевые нагрузки и моменты вокруг осей. В результате вместо заданного круга на детали может получиться овал (рис. 8). Функция компенсации провисания ошибки призвана устранить этот дефект.

**Динамическое предупреждение** связано с осевой погрешностью запаздывания, которая приводит к дефектам контура детали в моментах ускорения и торможения. Для решения этой задачи в Sinumerik 840D sl применяется предупреждение числом оборотов.

**Компенсация трения.** Трение возникает, прежде всего, в редукторах и направляющих. Для осей станка особенно заметно трение покоя. Так как для запуска движения требуется более высокое усилие, чем для его продолжения, то вначале возникает временная увеличенная погрешность запаздывания.

Это же относится и к изменению направления, при котором трение покоя вызывает скачок силы тре-

*Последовательность означает, что из одной ошибки запускается целая цепь различных алгоритмов компенсации ошибок.*

Журнал "Автоматизация в промышленности"

ния. Если ось, например, ускоряется с отрицательной скорости до положительной, то при прохождении положения нуля из-за изменения параметров трения она кратковременно "зависает". В случае интерполирующих друг с другом осей изменение параметров трения приводит к погрешностям контура. Эту погрешность можно увидеть на тесте круга, и определить реальное состояние механики.

Рис. 9 (слева) построен по данным, полученным с реального станка, которые показывают, что существ-

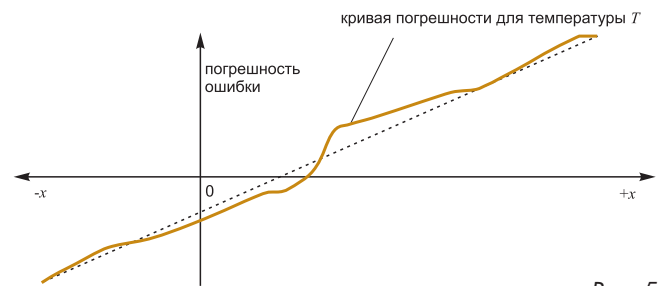


Рис. 5

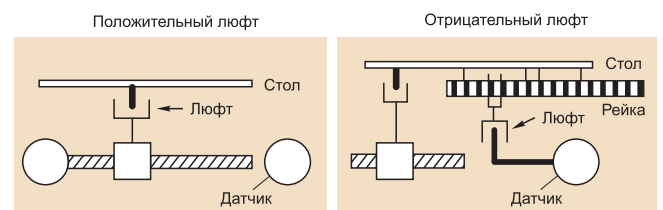


Рис. 6

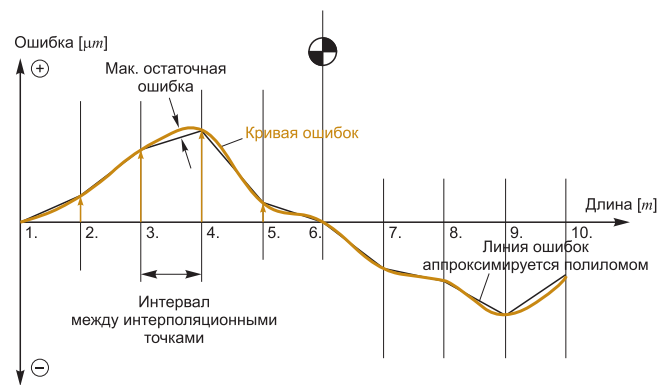


Рис. 7

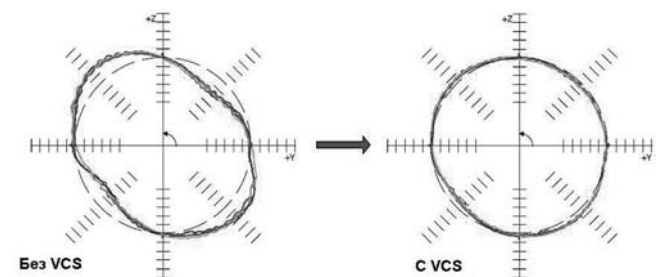


Рис. 8

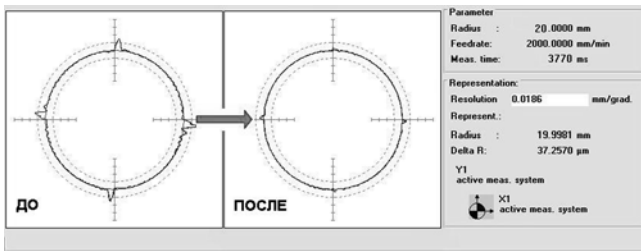


Рис. 9

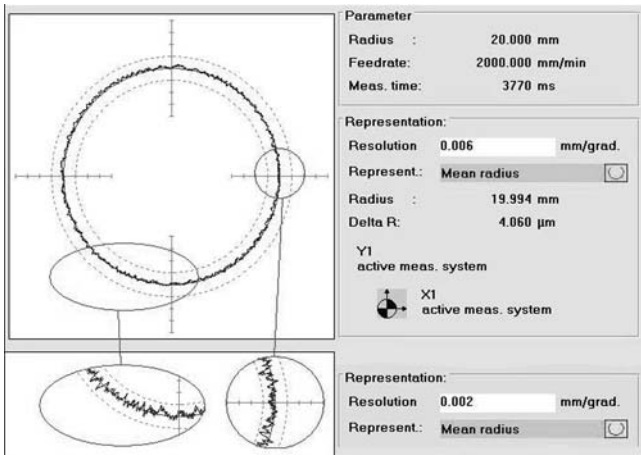


Рис. 10

вуют проблемы в механике. Скачки на диаграмме приводят к появлению дефектов на детали. Используя диагностические средства, интегрированные в НМИ, можно частично компенсировать скачки, показанные на рис. 10. После внесения изменений в коэффициент жесткости и постоянную времени, а также включения фильтров тест круга принял следующий вид (рис. 9 справа).

Но система управления способна устранить не все погрешности, большое значение имеет механика станка. При этом существует два способа компенсировать ошибки трения: обычная компенсация трения или компенсация квадратичных ошибок с нейронными сетями.

**Нейронная компенсация** включает фазы обучения и рабочую. На фазе обучения нейронной сети придается определенное поведение. При этом происходит обучение связи между ее входными/выходными величинами. Результатом является обученная характеристика компенсации, сохраненная в буферной памяти СЧПУ.

На рабочей фазе используется обученная характеристика компенсации, позволяющая в нужные мо-

менты времени выдавать управляющие сигналы, корректируя работу системы ЧПУ, и таким образом добиваться оптимальной компенсации ошибок.

### Заключение

Компенсировав ошибки первого и второго рода, можно приблизить станок к максимальной точности. Настройка станка осуществляется путем использования математического аппарата, встроенного в СЧПУ, на этапах пуска-наладки, диагностики и модернизации станка. На рис. 10 показан результат обработки цилиндра радиусом 20 мм на станке, оснащенном СЧПУ Sinumerik 840D solution line, с применением функций, реализующих компенсацию ошибок.

Рассмотренные методы компенсации и современные разработки ученых в области алгоритмического и программного обеспечения для СЧПУ реализованы в функциях Sinumerik 840Dsl:

- Advanced Surface позволяет сократить время обработки, увеличить качество обрабатываемой поверхности;

- TRAORI (для пяти осевой обработки) позволяет ориентировать инструмент ортогонально детали;

- 3D КРИ – компенсации радиуса инструмента в 5-осевом диапазоне как для кругового, так и для торцевого фрезерования;

- функция сглаживания траектории движения инструмента;

- LookAhead – аналог функции предупреждения в приводах для оптимизации траектории движения;

- и еще более чем в 100 различных функциях.

В заключение вспомним фразу одного из великих математиков прошлого, оставленную им на полях тетради с математическими выкладками: "Я нашел великолепное решение для этой сложной задачи, но поля моей тетради малы, чтобы описать все преимущества этого решения. Я сделаю это в другом очерке". Как известно, этот очерк так никто и не нашел, а задача вошла в историю как Великая теорема Ферма, над решением которой математики бились более 200 лет.

Так и мы нашли великолепное решение для сложных производственных задач, описать обширный набор функциональных возможностей которого не представляется возможным в рамках одной статьи. Но можно с уверенностью сказать, что название этому решению – Sinumerik 840D sl.

*Кудинов Александр Сергеевич – технический консультант ООО "Сименс".*

*Контактный телефон (495) 737-24-42.*

*E-mail: Alexander.Kudinov@siemens.com Http://www.sinumerik.ru*

### Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- в России – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- в странах СНГ и дальнего зарубежья – через редакцию ([www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)).

**Все желающие**, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте [www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.