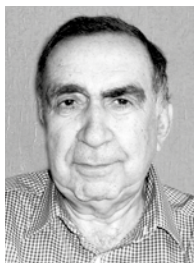


# НОВЫЙ СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ СТАНКОВ С ЧПУ



**Марк Кане,**  
профессор кафедры  
«Технология машиностроения» БНТУ,  
доктор технических наук,  
профессор

Расширение применения металлорежущих станков с числовым программным управлением (СЧПУ) – основная тенденция развития современного машиностроения. Однако несовершенство используемых методов их настройки и поднастройки ограничивает в определенной степени рост их точности, производительности, применения многостаночного обслуживания, что делает актуальным разработку новых подходов в этой сфере. Одним из них стал способ автоматической настройки и поднастройки станков и других машин с ЧПУ (измерительных машин, роботов и др.), разработанный в БНТУ автором данной статьи совместно с В.И. Резниченко и уже запатентованный в Российской Федерации.

УДК 621.78

В условиях 4-й промышленной революции разработка и совершенствование металлорежущих станков с ЧПУ – основной тренд в станкостроении.

## Методы настройки станка с ЧПУ и их недостатки

Важную роль в обеспечении точности и производительности обработки на металлорежущем станке играют его наладка и настройка. Первая представляет собой весь комплекс работ по подготовке технологического оборудования и его оснастки к выполнению требуемой операции. Вторая – часть этого процесса, включающая установку режущего инструмента и регулировку его положения относительно обрабатываемой

детали для обеспечения необходимой точности обработки и качества поверхности. По мере износа режущего инструмента и других явлений в процессе резания происходит снижение точности обработки. Процесс ее восстановления называют поднастройкой. Он происходит без замены инструмента, путем регулировки его положения. Для станков общего назначения длительность настройки и поднастройки составляет 8–20% времени обработки детали. Такую же примерно долю занимает погрешность настройки от общей погрешности обработки.

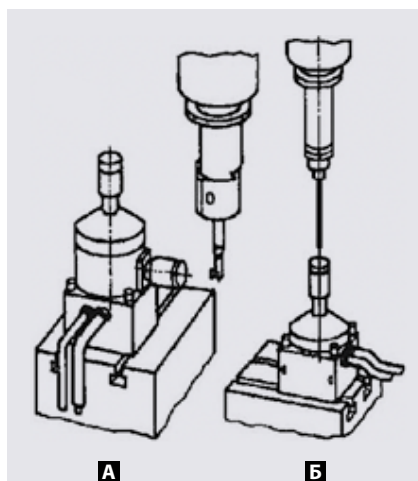


Рис. 1. Датчики контакта для настройки инструмента по оси X (А) и по оси Z (Б)

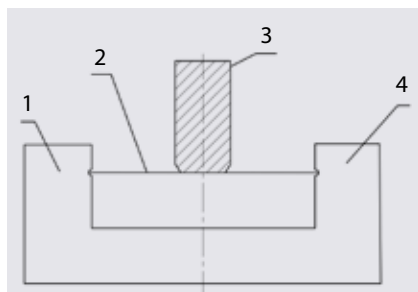


Рис. 2. Схема работы лазерного измерительного мостика: 1, 4 – источник и приемник лазерного излучения, 2 – лазерный луч, 3 – инструмент (концевая фреза)

Для СЧПУ роль описанных процессов еще более важна в связи с ростом точности обработки, увеличением числа режущих инструментов, используемых на отдельной операции, усложнением настройки в сравнении со станками без ЧПУ. В последних основная задача настройки – обеспечение точности взаимного расположения режущих инструментов, приспособления и устройств, задающих величину и траекторию перемещения инструментов относительно обрабатываемой детали (кулачков, упоров, копиров и др.), в станках с ЧПУ – определение положения режущих кромок инструмента относительно системы координат станка, исходной точки, являющейся началом программы обработки, а также координат настроечной точки инструмента относительно базовой точки инструментального блока или центра поворота инструментальной головки.

Несмотря на сложность и важность этой задачи, производители оборудования с ЧПУ, на наш взгляд, уделяют недостаточно внимания совершенствованию методов и средств ее решения. Они не меняются с конца 80-х гг. XX в. и лишь вскользь упоминаются в рекламной продукции изготовителей такого оборудования.

Современные способы настройки станков делятся на две группы: настройка вне станка и на нем. Первый вариант, хоть и позволяет сократить время обработки, связан со снижением точности настройки, так как появляется погрешность при установке инструмента на станок, поскольку при данном способе его размещают во вспомогательную конструкцию (державку, переходную втулку и др.), которая, в свою очередь, закрепля-

ется в подставке, имитирующей присоединительные поверхности револьверной головки, шпинделя и других элементов станка. Задача настройки инструмента вне станка – обеспечение координат его режущих кромок, заданных в карте наладки. Для этого выпускаются специальные приборы, совершенствование которых идет в основном за счет повышения точности и стабильности измерений. Вначале для этих целей применялись контактные средства – микрометры, штангенрейсмусы, нутромеры и т.п., затем – приборы с индикаторами часового типа, а после – оптические методы, которые сегодня преобладают. Точность установки инструмента при этом повысилась от  $\pm 0,06$  до  $\pm 0,005$  мм [1–3]. Для этих устройств разработаны следующие методы контроля положения режущих кромок инструмента в пространстве: контактный с контрольными опорами и индикаторами часового типа; оптический с использованием окулярного и проекционного микроскопов; оптический с индикаторами часового типа и микрокомпьютерами [3]. Наряду с приборами производства РФ (БВ 2010, БВ 2011, БВ 2012, БВ 2013, БВ 2015, БВ 2026, БВ 2027 и др.) широко используются изделия, изготавливаемые фирмами Index, Karl Zeis, Rittler, Nikon, Zoller и др.

Более точная настройка режущего инструмента производится непосредственно на станке с ЧПУ: а) путем ориентации инструментального шпинделя относительно установочных элементов приспособления с помощью устройств, автоматически устанавливаемых в шпиндель из инструментального магазина и управляемых электроконтактными

преобразователями (погрешность настройки шпинделя – 0,025 мм [4]); б) путем касания инструментом датчика контакта (рис. 1) или луча лазерного измерительного мостика (рис. 2), предварительно расположенных на станке вне зоны обработки и точно ориентированных относительно системы координат станка.

Датчики контакта вначале изготавливали с подвижным наконечником, с которым соприкасался инструмент [2]. Ход последнего до момента касания определялся с помощью микропереключателей. Погрешность настройки при этом не превышает 0,02 мм [4]. В современных станках наконечник статичен, и движение инструмента до его соприкосновения с датчиком или его вылет (размер) определяют с помощью отсчетно-измерительной системы ЧПУ-станка. Погрешность настройки в этом случае примерно 0,005 мм, а при применении лазерного измерительного мостика фирмы Blum и др. – порядка 0,002–0,004 мм [2].

Датчик, контактный или бесконтактный, представляет собой устройство, устанавливаемое на столе или кожухе станка. После вызова инструмента из магазина данного аппарата, то есть активации его номера в системе ЧПУ, на стойке запускают цикл привязки инструмента – макрос (программу, написанную на понятном данной конкретной стойке языке макрокоманд). Его выполнение включает подвод инструмента к датчику в автоматическом режиме, а касание для получения более точного результата выполняется несколько раз по каждой необходимой для привязки оси. Инструмент до соприкосновения с датчиком кон-

такта перемещается обычно со скоростью рабочей подачи.

Сигнал срабатывания датчика (то есть регистрация момента касания) попадает в систему ЧПУ станка при помощи кабеля, оптической бескабельной связи (посредством инфракрасного оптического бесконтактного устройства) или радиочастотной системы (приемо-передающего устройства). Выбор конкретного способа определяется типом используемого датчика и станка.

Срабатывание датчика – это фиксация текущих машинных координат инструментального суппорта (шпинделя или револьверной головки). Алгоритм обработки полученных данных прописан в макросе, поэтому крайне важно, чтобы перед измерениями он был активирован. Как правило, программа пересчитывает полученные координаты, чтобы они соотносились с нулем (детали), и записывает их в таблицу офсетов. Таким же образом можно учитывать износ инструмента и выявлять его поломки.

Следует отметить **недостатки** рассмотренных методов настройки. При использовании датчиков контакта – это низкая производительность из-за необходимости многократных касаний их инструментом для одного измерения (время настройки инструмента 14–20 с) [3]; высокая вероятность повреждения датчика из-за соприкосновения с инструментом на большой скорости; трудность его герметизации от стружки и смазывающей охлаждающей жидкости, что снижает точность. При применении лазерного измерительного мостика главный недостаток – сложность определе-

ния вылета инструмента, имеющего точечную вершину (резцов, сверл, шаров и др.).

Датчики касания [2] используются в основном для измерений и установки заготовок, но могут применяться и для настройки инструмента на станках с ЧПУ. В первом случае они устанавливаются в инструментальную револьверную головку, во втором – в шпиндель станка. По принципу работы они могут быть контактного и индуктивного типов. Передача и прием сигналов часто осуществляется с помощью инфракрасных диодов или радиочастотным способом, который более надежен при обработке резанием.

Настройка режущего инструмента с помощью датчика касания сопряжена с рядом трудностей. Прежде всего, из-за конструкции таких инструментов необходим сложный алгоритм перемещений щупа датчика, чтобы установить координаты режущих кромок в пространстве. Иногда необходимо 2D- или 3D-сканирование. Это усложняет программирование, увеличивает время настройки, снижает ее точность. Погрешность при этом способе – 0,005–0,008 мм.

## Новый способ автоматической настройки и поднастройки машин с ЧПУ

Для устранения указанных недостатков автором статьи совместно с В.И. Резниченко предложен способ автоматической ориентации в пространстве исполнительного органа машин с ЧПУ [5] для настройки и поднастройки станков с ЧПУ, роботов, контрольно-измерительных машин (КИМ) и др.

- Основные его особенности:
  - *оптический бесконтактный способ измерений, как наиболее точный в настоящее время;*
  - *применение для ориентации в пространстве режущего инструмента или рабочего органа машины с ЧПУ измерительной системы, состоящей из 2–3 источников и приемников лазерного излучения, позволяющей решить поставленную задачу для объекта любой конструкции;*
  - *использование по одной из координатных осей плоского луча излучения и расположение лучей малого диаметра по другим координатным осям в одной плоскости с данным лучом, что позволяет быстро и точно соригентировать в пространстве вершину инструмента или рабочего органа (режущей пластины резца, сверла, вершину шарика или ролика обкатного инструмента, наиболее удаленную от оси точки захвата робота и др.).*

На рис. 3 приведена функциональная схема реализации предлагаемого способа для измерения и ориентации невращающегося исполнительного органа (ИО) машины

с ЧПУ по одной координатной оси X. Используется пучок излучения, направленный от его источника 1 на приемник 2 перпендикулярно оси X и расположенный на известном расстоянии от начала координат машины (станка) с ЧПУ. Вершина ИО должна находиться в одной плоскости с пучком излучения, что обеспечивает их пересечение при перемещении ИО перпендикулярно пучку.

При передвижении ИО, исходное положение оси которого относительно начала координат машины с ЧПУ известно, перпендикулярно пучку излучения (параллельно оси X) вершина ИО пересечет этот пучок. В зависимости от необходимой точности измерений возможны два метода фиксации этого момента: по сигналу от приемника излучения при полном перекрытии пучка вершиной ИО и при уменьшении интенсивности излучения ниже порогового значения, связанного с частичным перекрытием пучка вершиной ИО. Второй метод более точен и производителен.

Возникший на приемнике 2 электросигнал через усилитель 4 поступает в блок 5 входных сигналов СЧПУ. Центральный процессор (ЦП) 6 обнаруживает

поступивший сигнал и дает команду блоку 7 управления приводами на прекращение движения ИО вдоль данной координатной оси от привода 8. После остановки ИО ЦП 6 производит расчет пути, пройденного ИО до встречи его вершины с пучком излучения, расстояния от оси ИО до его вершины или характерной точки (методика такого расчета показана ниже и поясняется рис. 4 и 5), сравнивает полученные результаты с допустимыми, хранящимися в блоке 9 памяти системы ЧПУ (СЧПУ), и вносит при необходимости коррективы в программу дальнейшей работы.

Затем, в соответствии с программой измерений, ЦП 6 (рис. 3) через блок 10 выходных сигналов дает команду на выключение источников излучения, если цикл измерений закончен, или на переход к измерениям по другим координатным осям. Команду на запуск цикла может давать оператор с дисплейного пульта 11, на который выводится затем информация о результатах, или ЦП 6 – автоматически, после выполнения машиной определенного числа рабочих циклов. Блоки 5–11 входят в СЧПУ 12.

Схема измерения расстояния от оси или заданной точки до вершины невращающегося ИО показана на рис. 4, а радиуса вращающегося ИО – на рис. 5, вдоль одной координатной оси (X).

При перемещении ИО до встречи его вершины или другой характерной точки с пучком излучения его ось проходит путь  $L_2$  из произвольной точки  $O_1$  с известными координатами в точку  $O_2$ . ЦП 6 (рис. 3), определяет этот

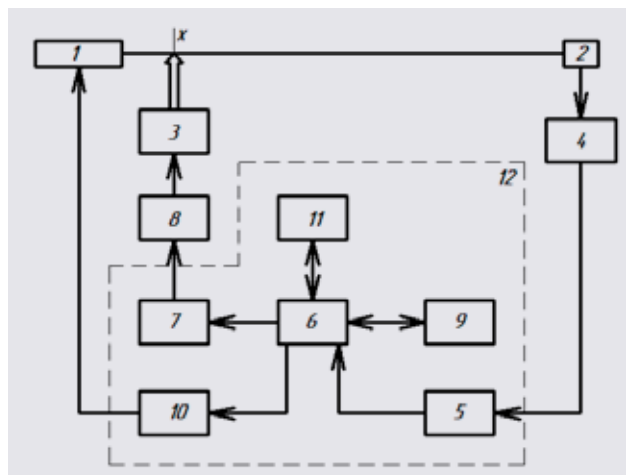


Рис. 3. Функциональная схема предложенного способа [5]

путь и расстояние  $L_1$  от точки  $O_1$  до пучка излучения, определенным образом расположенного в системе координат машины с ЧПУ. Искомый размер  $L_3$  (рис. 4) или  $R$  (рис. 5) ИО ЦП находят как разность значений  $L_1$  и  $L_2$ .

В качестве источника узконаправленного излучения может использоваться лазер (например, гелий-неоновый), другие источники светового излучения в видимой или инфракрасной части спектра, а также электромагнитного (например, радиоволн), рентгеновского, ультразвукового, радиоактивного и др. Приемником, в случае применения лазера, могут служить фотодиоды, линейки фотодиодов (ПЗС-матрицы). Последние могут быть задействованы для плоских лучей шириной более 15 мм. Фотодиоды в матрице работают самостоятельно, независимо друг от друга реагируют на изменение интенсивности луча, падающего на каждый из них. При ширине луча до 15 мм (это характерно для металлорежущих станков, роботов, контрольно-измерительных машин и других точных машин с ЧПУ) может использоваться фотодиод с соответствующим диаметром фотоприемной поверхности (например, ФД-141К имеет диаметр фотоприемной поверхности 14 мм) и быстродействием в десятки НС (в случае ФД-141К – это 50 НС). В зависимости от вида могут применяться также соответствующие приемники электромагнитного, ультразвукового, инфракрасного, рентгеновского, радиоактивного излучения и др.

При настройке СЧПУ данным методом не требуется предварительных измерений режу-

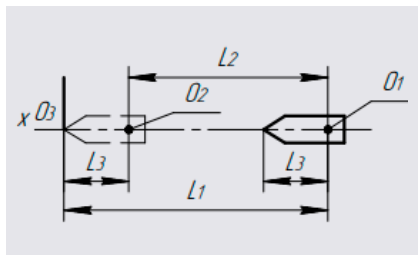


Рис. 4. Схема измерения невращающегося ИО

щих инструментов перед их установкой на станок. Для компенсации возможных погрешностей установки и изготовления инструмента на первом этапе настройки инструмента при выведении его вершины в плоскость измерений используют плоский луч (световую плоскость) шириной 5–10 мм. На примере настройки токарного резца на рис. 6 – это погрешность положения вершины резца по его высоте (по оси Y). Такой луч получают с помощью расширителя 4 лазерного пучка, которым может быть цилиндрическая линза или пентапризма.

Плоский луч направляется на фотодиод 2 соответствующего размера непосредственно или через оптический элемент 5, который вновь превращает этот луч в цилиндрический. Такими элементами могут выступать обратная цилиндрическая линза или пентапризма. Приемником луча может быть и ПЗС-матрица. Однако в линейке фотодиодов между ними есть минимальное пространство, которое нечувствительно для падающих на эти участки лучей. Поэтому при ширине луча до 15 мм вместо такой линейки лучше задействовать один фотодиод, имеющий ширину плоского луча. Вместо плоского луча можно использовать и цилиндрический соответствующего диамет-

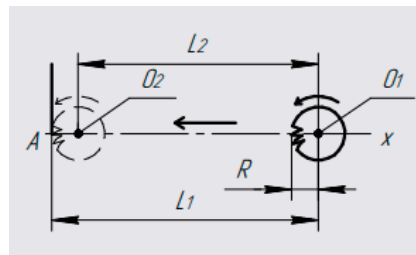


Рис. 5. Схема измерения вращающегося ИО

тра. Известно, что диаметр луча гелий-неоновых лазеров находится в пределах 0,001–50 мм. Однако при этом нельзя добиться необходимой точности измерений, так как такой вариант не сможет обеспечить выход вершины инструмента в одну точку по высоте луча.

Рассмотрим пример измерений и ориентации в пространстве невращающегося исполнительного органа машины с ЧПУ по двум координатным осям. Такая задача возникает, например, при настройке и поднастройке различных резцов и некоторых других инструментов (в частности, для обкатки или выглаживания деталей) на токарных станках. Схема реализации

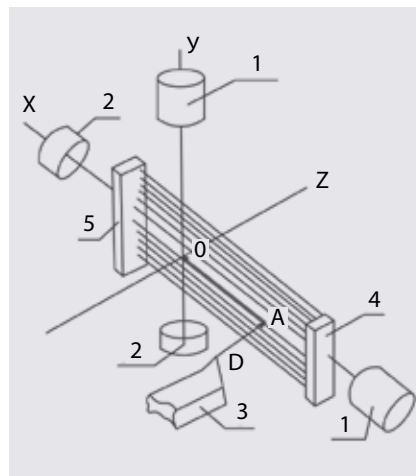


Рис. 6. Схема автоматической настройки токарного станка с ЧПУ предлагаемым способом [5]

предлагаемого способа для решения данной задачи показана на рис. 6. В качестве источников излучения здесь приняты гелий-неоновые лазеры 1, направленные на фотодиоды 2 таким образом, что лазерные лучи перпендикулярны осям Z и X станка и лежат в одной вертикальной плоскости на известном расстоянии от начала координат станка.

Цикл работы измерительной системы подобен описанному выше по рис. 3. Вначале СЧПУ включает источники и приемники излучения. Затем инструмент под управлением СЧПУ перемещается из исходного положения: вдоль оси Z до пересечения его вершины D с плоским лучом лазера в точке А, а затем – параллельно оси X до пересечения вершины с лучом лазера в точке О. СЧПУ станка оценивает вылет инструмента по каждой оси, сравнивает его с допустимым, принимает решение о возможности использования данного инструмента, вносит в случае необходимости коррективы в положение инструмента.

Достоинства данного метода, по сравнению с наиболее распространенными в настоящее время методами настройки с помощью датчиков контакта, следующие:

- уменьшение погрешности настройки с 0,005 мм до 0,002 мм;
- повышение производительности, так как исключается необходимость многократных замеров и они выполняются при перемещении инструмента по кратчайшему пути;
- стабильность точности измерений благодаря отсутствию вероятности повреж-

дений контактных поверхностей датчиков режущим инструментом, а между ними – стружкой и СОЖ;

- удешевление измерительной системы из-за увеличения срока ее службы, снижения расходов на эксплуатацию и ремонт.

Если сравнить предложенный способ с лазерными измерительными мостиками, то его преимущества таковы:

- увеличение области применения – если мостики задействованы в основном для позиционирования и измерения вращающихся инструментов, у которых режущие кромки формируют плоскую или цилиндрическую поверхности, то наш метод подходит и для невращающихся, а также для широкого круга рабочих органов машин с ЧПУ (роботов, измерительных машин и др.);
- повышение производительности – при измерении и позиционировании инструмента (рабочего органа машины с ЧПУ), имеющего вершину, процесс существенно упрощается, не требует многократных замеров и сложной обработки результатов.

По сравнению с датчиками касания новый способ автоматической настройки:

- снижает ее погрешность примерно с 0,008 до 0,002 мм;
- значительно уменьшает время работы, так как измерения выполняются однократно и по кратчайшим траекториям.

Основной недостаток данного метода – вероятность искажения результатов измерений из-за наличия в атмосфере станка паров СОЖ и смазки. Однако опыт экс-

плуатации лазерных измерительных мостиков показывает, что эта трудность преодолима. В последние годы ведущие изготовители СЧПУ стали оснащать их системами удаления масляного тумана и стружки для улучшения экологии. Это облегчает задачу герметизации предлагаемой измерительной системы, которая располагается вне зоны обработки.

Процесс настройки металлорежущих станков оказывает существенное влияние на точность и производительность обработки деталей. Для станков с ЧПУ его значение возрастает в связи с их усложнением и увеличением возможностей. В то же время в последние 30 лет существенного совершенствования методов их настройки и поднастройки не произошло. Предложенный способ более универсален и эффективен, чем все, существующие в настоящее время. Его применение позволит увеличить точность обработки, повысить производительность, снизить расходы при использовании станков (машин) с ЧПУ. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аверченков А.В. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка: учебное пособие / А.В. Аверченков, М.В. Терехов, А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек. – М., 2014.
2. Каштальян И.А. Обработка на станках с числовым программным управлением: Справ. пособие / И.А. Каштальян, В.И. Клевзович. – Минск, 1989.
3. Тригубкин В.А. Техническая эксплуатация станков с ЧПУ и робототехнических комплексов: курсовое и дипломное проектирование / В.А. Тригубкин. – Минск, 2010.
4. Микитянский В.В. Точность приспособлений в машиностроении / В.В. Микитянский. – М., 1984.
5. Кане М.М., Резниченко В.И. Способ автоматической ориентации в пространстве исполнительного органа машины с ЧПУ. Российская Федерация / Патент №2009764 на изобретение // Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 30.03.1994. Приоритет изобретения 21.06.1988 г.