

programming environment Microsoft Visual C ++ and debugging the analysis of experimental curves of current and voltage of the machine contact MTPU-300, obtained with a digital oscilloscope. The features of the translation program for the personal computer to analyze the current and voltage curves and to calculate the parameters of electrical energy is not in real time in the microcontroller's program of the measuring device. The results of works on creation and testing of prototypes.

Key words: current sensor, voltage sensor, measuring devices, resistance welding, power distortion, FPGA, semiconductor compensator reactive power, energy

УДК 681.5

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА

© 2015

В. В. Королев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника,
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Р. Е. Петров, инженер-электроник
ООО «Фагор Аутомэйшин Рус», Москва (Россия)

Аннотация. Представлены результаты модернизации токарно-винторезного станка 16К20Ф3. Модернизация проведена с использованием элементов, производимых фирмой Fagor. Произведен расчет и выбор электроприводов главной подачи и приводов осей, а также блока питания и коммутационных оптоволоконных кабелей. Выбрана система ЧПУ и написана программа для нее.

Ключевые слова: блок питания, модернизация станка, оптический кабель, программируемый логический контроллер, сервопривод, система ЧПУ, токарно-винторезный станок, электропривод, электродвигатель привода осей, электродвигатель шпинделя.

В случаях, когда станок выпущен давно, но продолжает использоваться на предприятии, для улучшения его эксплуатационно-технических характеристик прибегают к, так называемому, процессу модернизации оборудования. Данный процесс представляет собой комплекс инженерно-конструкторских работ по разработке проекта и внесению изменений в заводскую конструкцию станка с целью продления его срока службы и улучшению эксплуатационных параметров. Для станков со встроенными системами ЧПУ процесс модернизации можно разбить на два этапа: модернизация механической части станка и модернизация системы числового программного управления (УЧПУ). Замена системы ЧПУ на современную позволяет использовать в процессе обработки на станке все новые и современные технологии, появившиеся в последнее время, что, в свою очередь, уменьшает время обработки и увеличивает её качество.

В данном проекте произведена инженерная проработка проекта по замене устаревшей ЧПУ (Контур 2ПТ-71 производства 1972 года) на станке 16К20Ф3 на современную, отвечающую всем требованиям производительности и безопасности, систему УЧПУ (Fagor 8055 TC). Данная модернизация потребует замены системы приводов и электродвигателей станка на новые, отвечающие стандартам безопасности.

Результатом данной модернизации является современный токарный станок, обладающий высокой точностью и быстродействием, возможностью коммуникации с персональным ЭВМ посредством интерфейсов RS-232 и Ethernet. Так же имеется возможность загрузки программ деталей из САД систем, что ускоряет процесс создания программ обработки и создает удобства для работы на станке оператору и обслуживающему персоналу.

Станок 16К20 является распространенной моделью токарного станка на территории Российской Федерации и бывших стран СНГ. Для данного станка существует модификация 16К20Ф3, отличающаяся наличием системы УЧПУ, установленной на заводе-изготовителе.

Станок является типичным токарным станком, обладает одним шпинделем и двумя осями (плоскостями передвижения резца). Ось Z представляет собой продольный суппорт. Ось X представлена поперечным и резцовым суппортом.

Главный привод шпинделя оснащен трехступенчатой коробкой передач, обладающей следующими характеристиками:

- передача I – 12,5–200 об/мин;
- передача II – 50–800 об/мин;
- передача III – 125–2000 об/мин.

Конструкция шпиндельного узла в значительной мере определяет эксплуатационные показатели станка, то есть применяемые режимы реза-

ния, достигаемые точности и производительности обработки. Поэтому корпус бабки выполнен в виде жесткой чугунной отливки и надежно закреплен на станине. Зубчатые колеса закалены и шлифованы по профилю зубьев. Наиболее важной деталью шпиндельной бабки является шпиндель, непосредственно воспринимающий усилия резания. Передний конец шпинделя имеет фланец, к которому крепится кулачковый патрон. Передней опорой служит двухрядный конический роликовый подшипник, а задней – однорядный конический роликовый подшипник. Применение в опорах пружин, предназначенных для постоянной выборки зазоров в подшипниках, способствует повышению точности и жесткости шпиндельного узла. Подшипники отрегулированы заводом-изготовителем станка, что обеспечивает их эксплуатацию без вмешательства наладчика.

Привод продольного перемещения суппорта включает в себя шариковую винтовую передачу (диаметр 63 мм, шаг 10 мм), опоры винта, редуктор (передаточное отношение 1/1), электродвигатель постоянного тока и датчик обратной связи, связанный с винтом посредством муфты.

Привод поперечного перемещения суппорта включает в себя: шариковую винтовую передачу (диаметр 40 мм, шаг 5 мм), опоры винта, редуктор (передаточное отношение 1/1), электродвигатель постоянного тока и датчик обратной связи, соединенный с винтом посредством упругой муфты.

Шестипозиционная револьверная головка с горизонтальной осью вращения установлена на поперечной ползушке. В инструментальной головке закреплено шесть резцовых вставок или три инструментальных блока.

Инструментальная съемная головка смонтирована на выходном валу и жестко связана с подвижным элементом плоскозубчатой муфты. Поворот револьверной головки производят следующим образом: от электродвигателя (через червячную передачу) вращение передается на вал кулачковой полумуфты, которая жестко связана с валом. В начальный момент вращения элементы плоскозубчатой муфты расцепляются, и происходит поворот головки в нужную позицию, что контролируется электрическим датчиком. Затем осуществляется реверс электродвигателя, вал кулачковой муфты вращается в противоположную сторону, а подвижный элемент плоскозубчатой муфты (с инструментальной головкой) удерживается от поворота фиксатором, в результате чего элемент фиксируется на зубьях неподвижного элемента плоскозубчатой муфты. Сигнал зажима от конечного выключателя подается на пульт управления, при этом электро-

двигатель поворота отключается и начинается рабочий цикл обработки. Для ручного поворота и зажима револьверной головки (при наладке станка) на валу предусмотрена шестигранная головка под ключ. Режущий инструмент располагается на инструментальной головке по возможности равномерно, чтобы избежать дисбаланса при вращении головки.

Задняя бабка крепится на станине с помощью рукоятки, эксцентрикового вала, планки и системы рычагов. Силу прижима задней бабки к станине регулируют винтами (при отпущенных контргайках), изменяя положение прижимной планки. Пиноль перемещают вручную (с помощью маховика) или используя электромеханический привод.

Согласно техническому заданию заказчика станок должен обеспечивать вращение шпинделя в диапазоне 12,5–2000 об/мин. И мощность 11 кВт.

В данном проекте для облегчения конструкции станка будет применена штатная коробка передач главного шпинделя.

Таким образом шпиндель будет работать в полуавтоматическом режиме, требуя установки нужной передачи в начале исполнения программы обработки. Такое решение удешевит конструкцию и упростит реализацию проекта.

Замена подвергнется только электродвигатель привода шпинделя, для этого подойдет любой асинхронный электродвигатель, удовлетворяющий следующим характеристикам: мощность 11 кВт, максимальные обороты 3000 об/мин.

Для обеспечения высокой точности работы станка произведена замена приводов и электродвигателей продольной и поперечной подачи на современные аналоги. А также исключен привод резцового суппорта, т. к. станки с ЧПУ в состоянии обеспечить точность позиционирования 0,001 мм при использовании только поперечного суппорта, при условии исправности направляющих и ШВП осей.

Электродвигатели осей должны крепиться прямо на вал ШВП оси, т. к. требуемые усилия (моменты) не велики, то не требуется применение редукторов. Упрощенная кинематическая схема для выбора электродвигателей осей представлена на рисунке 1.

Т. к. было решено отказаться от редукторов электродвигателей на осях, то согласно кинематической схеме (рис. 1), $DP1 = DP2$.

Для любой из осей выбранный двигатель должен удовлетворять следующим условиям

$$M_{\min} = M_{\text{трения}} + M_{\text{сопр.веса}} + M_{\text{рабочий}} + M_{\text{ускорения}},$$

где M_{\min} – необходимый минимальный момент, обеспечиваемый двигателем (Н·м); $M_{\text{трения}}$ – момент трения о направляющие (Н·м); $M_{\text{сопр.веса}}$ –

момент преодоления веса (для вертикальных осей) (Н·м); $M_{\text{ускорения}}$ – дополнительный момент, развиваемый двигателем для ускорения оси (Н·м).

$$M_{\text{трения}} = \left[\frac{m \cdot g \cdot \mu \cdot h}{2\pi} + \frac{d}{10} \right]$$

где m – масса подвижного суппорта, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – коэффициент трения о направляющие (для стали $\mu = 0.1$); h – шаг ШВП, мм; d – диаметр ШВП, мм

Для оси Z примем: $m = 120$ кг, $h = 0,05$ м, $d = 0,04$ м,

$$M_{\text{трения}}(Z) = \frac{120 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 0,05}{2 \cdot 3,14} + \frac{0,04}{10} = 0,94 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Аналогично для оси X:

$$M_{\text{трения}}(X) = \frac{20 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 0,05}{2 \cdot 3,14} + \frac{0,04}{10} = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обе оси являются горизонтальными, таким образом

$$M_{\text{сопр.веса}}(Z) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{сопр.веса}}(X) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{рабочий}} = \left[\frac{F \cdot g \cdot h}{2\pi} \right]$$

где F – максимальная сила, необходимая при работе на станке (Н)

$$M_{\text{рабочий}}(Z) = \frac{50 \cdot 9,8 \cdot 0,05}{2 \cdot 3,14} = 4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{рабочий}}(X) = \frac{50 \cdot 9,8 \cdot 0,05}{2 \cdot 3,14} = 4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ускорения}} = M_{\text{рабочий}} \cdot 0,5;$$

$$M_{\text{ускорения}}(Z) = 2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ускорения}}(X) = 2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом, минимальный момент, развиваемый двигателями осей будет равен:

$$M_{\text{min}}(X) = 0,15 + 4 + 2 = 6,15 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{min}}(Z) = 0,94 + 4 + 2 = 6,94 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчет минимальной скорости осевых двигателей: $R_{\text{об.мин}} = \frac{V}{h}$

где V – максимальная скорость подачи по оси (мм/мин).

Согласно техническому заданию

$V_{\text{макс}} = 2000$ мм/мин для обеих осей. Тогда

$$R_{\text{об.мин}}(Z, X) = \frac{2000}{5} = 400 \text{ об. мин.}$$

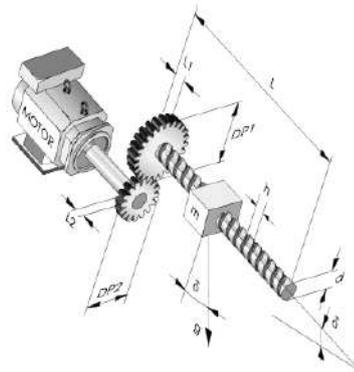


Рисунок 1 – Упрощенная схема кинематики для подбора электродвигателей осей

Револьверная головка уже оснащена поворотным устройством и датчиками положения, так что в процессе модернизации станка не придется вносить конструктивные изменения в этот узел.

Задняя бабка станка служит для фиксации свободного конца заготовки и в данном проекте модернизации остается не механизированной (ручной).

В данном проекте предусмотрено использование электрошкафа для размещения электроавтоматики и разнообразной сопутствующей электроники. Что дает возможность использовать модульную систему ЧПУ, иначе говоря, в таком исполнении, что дисплей и клавиатура находятся на приборном пульте оператора, а сам центральный блок ЧПУ (ЭВМ) располагается в электрошкафу с другими модулями. Такое решение упростит монтаж оборудования и улучшит вентиляцию и охлаждение центрального блока ЧПУ.

Для модернизации была выбрана система ЧПУ CNC 8055-ТС (производства компании FAGOR) в модульном исполнении. Данная система ЧПУ имеет характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики системы ЧПУ CNC 8055-ТС

Параметр	Значение
Исполнение	Модульное
Напряжение питания	220 Вольт
Максимальное поддерживаемое кол-во осей	7
Максимальное поддерживаемое кол-во шпинделей	2
Интерфейсы взаимодействия с ПК	RS-232, Ethernet
Внутренняя память программ	512Кб
Поддерживаемые карты CF	До 2Гб
Время цикла электроавтоматики	2мс
Интерфейс связи с приводами	Оптический (SERCOS)
Наличие встроенного блока логического контроллера (PLC)	Да
Количество встроенных цифровых входов контроллера PLC	40
Количество встроенных управляемых выходов контроллера PLC	28

Т. к. данная система будет использоваться на токарном станке, и в техническом задании на проект требуется наличие встроенных графических циклов, то необходимо выбрать следующую панель оператора: NMON.55TC.11.LCD.

Для коммуникации между центральным блоком ЧПУ, который располагается в электрошкафу станка, и панелью оператора, располагающейся на подвижной консоли оператора, необходим комплект следующих кабелей:

- CAB.MON-50/55-5M – кабель подключения дисплея ЧПУ, длиной 5 метров;
- JOG CABLE-5M – кабель подключения клавиатуры ЧПУ, длиной 5 метров.

Т. к. система ЧПУ Fagor имеет интерфейс SERCOS для подключения систем приводов, то привода и электродвигатели следует выбирать из той же линейки. Компания Фагор производит несколько линеек электродвигателей шпинделя FM7 и FM9. Т. к. в данном проекте не требуется высоких мощностей от двигателя шпинделя, то выбор падает на линейку двигателей FM7. Мощность электродвигателя должна быть не менее 11 кВт, обороты не менее 3 000 об/мин. Поэтому для нашей цели подойдет двигатель линейки FM7-A110, имеющий номинальную мощность 11кВт и максимальные обороты 9 000 об/мин. Согласно классификатору компании-производителя, полное название модели двигателя FM7-A110-S1C0-E01.

Согласно рекомендациям производителя для данного электродвигателя необходимо выбрать привод шпинделя из семейства: SPD 2.50. Полное название модели, согласно классификации производителя оборудования, будет: SPD 2.50-S0-0-B.

Для коммуникации между двигателем шпинделя и приводом шпинделя будет необходимо подобрать соответствующие провода:

- MPC-4X6-5M – силовой кабель подключения двигателя;
- EEC-FM7S-05 – информационный кабель подключения датчика обратной связи.

Согласно проведенным расчетам электроприводы осей должны удовлетворять следующим техническим характеристикам:

- 1) скорость вращения вала – $R_{max} > 400$ об/мин;
- 2) для двигателя оси X – $M_{min}(X) > 6,15 \text{ Н*м}$;
- 3) для двигателя оси Z – $M_{min}(Z) > 6,94 \text{ Н*м}$.

Компания Фагор производит линейку серводвигателей, предназначенную специально для осевых перемещений, это серводвигатели серии FKM.

Для данного проекта, учитывая, что различие между моментами осей не велико, рекомендуется

взять двигатели одного типа, с небольшим запасом по моменту. Это упростит разработку проекта и внесет некоторую унификацию в конструкцию станка.

Принимаем в качестве электродвигателей для осевых перемещений для осей X и Z следующую модель: FKM43.20A.E3.000. Выбранный нами двигатель имеет инкрементальный датчик обратной связи 1Vpp, не имеет тормоза и вентилятора.

Выбор осевого привода вытекает из модели самого двигателя и максимально возможного пикового момента на валу двигателя. Максимальный момент на валу возникает в момент начала движения оси либо в случае её перегрузки. Во избежание поломки станка и обеспечения его устойчивой работы примем $M_p = M_{min} \cdot 2$.

Учитывая рекомендации производителя оборудования для обеих осей (X, Z), выберем привод семейства AXD 1.08. Согласно классификатору производителя в качестве сервоприводов осей X, Z примем модель AXD 1.08-S0-0-B.

Для коммуникации между приводом оси и двигателем понадобятся два кабеля и дополнительный разъем:

- MPC-4X1.5 – силовой кабель подключения серводвигателя (2 шт.);
- MC-20/6 – разъем подключения серводвигателя (2 шт);
- EEC-SP-5 – информационный кабель подключения серводвигателя (2 шт.).

Все выбранные в данном проекте сервоприводы соединены параллельно на шине питания 400 В. Для того чтобы обеспечить их надежную и бесперебойную работу, необходимо правильно подобрать блоки питания для системы сервоприводов, который сможет обеспечить необходимую нагрузочную способность. Для правильного определения типа используемого блока питания необходимо посчитать суммарную, максимально возможную мощность, потребляемую системой приводов. Для этого можно воспользоваться справочной информацией, предоставляемой производителем. Согласно ей максимально возможная потребляемая сервоприводами мощность, будет равна

$$P_{MAX} = P_{SPD} + P_X + P_Z = 19,3 + 6 + 6 = 31,3 \text{ kW}$$

Согласно критериям выбора блока питания, предоставленным производителем оборудования, рекомендуется использовать рекуперативный блок питания модели: RPS-45. Особенностью данного блока питания является то, что для него не требуется тормозной резистор, всю лишнюю мощность, которая образуется при торможении приводов, блок питания возвращает в электрическую сеть

предприятия. Для осуществления данного процесса блоку питания требуется специальный согласующий дроссель, конкретно для этой модели необходим дроссель модели CHOKE RPS-45.

Для того, чтобы снизить влияние электропомех (которые в большом количестве возникают на промышленных предприятиях), на вход питания станка обычно ставится сетевой фильтр. Тип модели фильтра выбирается в зависимости от максимально возможного потребления тока станком. В частности, блоком питания системы сервоприводов. Для облегчения процесса подбора необходимого модуля можно воспользоваться таблицей, предоставляемой производителем. Согласно ей необходимо выбрать следующую модель фильтра: MAINS FILTER 75A.

Коммуникация сервоприводов станка и системы ЧПУ происходит через высокоскоростной оптический интерфейс (SERCOS). Основной идеей этого интерфейса является реализация протокола TALKING RING, его суть состоит в том, что все участники «сети» соединены в «кольцо» таким образом, что каждый модуль видит и общается только с двумя соседними. В один момент времени передавать в сеть может только одно устройство, остальные же просто ретранслируют его «пакеты» далее. Такая сеть является достаточно популярным решением в системах ЧПУ, для её реализации каждому модулю (узлу сети) назначается персональный адрес (NODE), такой адрес индивидуален у каждого узла и не может повторяться.

Для подключения системы приводов к ЧПУ необходимы оптоволоконные кабели, учитывая, что центральный блок ЧПУ и система приводов находятся в одном электрошкафу, то будет достаточно двух оптических кабелей, длиной 2 метра SFO-2 – гибкий оптоволоконный кабель (2 шт).

Центральный блок ЧПУ оборудован встроенным программируемым логическим контроллером (PLC). Встроенный PLC имеет 40 цифровых входов и 24 цифровых выходов. Он выполнен в виде карты расширения, вставленной в один из свободных слотов шасси центрального блока ЧПУ. На своем торце он имеет следующие типы разъемов: 8 – аналоговые выходы для сервоприводов; 8 – аналоговые входы, свободные для управления, контроля или наблюдения устройств; 1 – цифровые входы измерения; 24 – цифровые выходы, оптоизолированные, управляемые PLC; 40 – цифровые входы, оптоизолированные, читаемые PLC.

Согласно конструктивным особенностям системы ЧПУ Fagor CNC 8055-TC, блок PLC имеет зарезервированные системой входы и выходы. А именно:

- П1 – вход подключения кнопки аварийного останова;

- О1 – выход возникновения ошибки в ходе выполнения программы.

Сигналы данных выводов должны в обязательном порядке обрабатываться системой электроавтоматики станка. В противном случае это может стать причиной возникновения нештатной ситуации.

Когда PLC устанавливает вход «EMERGEN» низким уровнем (0V), ЧПУ останавливает оси и шпиндель, и выдает соответствующее сообщение об ошибке. Также, ЧПУ активизирует сигналы «EMERGENCY OUTPUT» и «ALARM», чтобы сообщить внешнему миру и PLC, что в ЧПУ произошла авария. ЧПУ не позволяет выполнять программу, и прерывает любую попытку переместить оси или шпиндель, пока вход «EMERGEN» на низком уровне (0V). Когда PLC обратит вход «EMERGEN» в высокое состояние (24V), ЧПУ деактивирует сигналы «EMERGENCY OUTPUT» и «ALARM», чтобы сообщить внешнему миру и PLC, что в ЧПУ больше нет аварии.

Все разрешающие сигналы должны быть обработаны программой электроавтоматики станка, например:

I-EMERG AND (остальные условия) = /EMERGEN

Если внешний аварийный вход активизирован, или происходит любая другая авария, общий логический вход ЧПУ «EMERGEN» должен быть активизирован. Когда нет никакой аварии, этот сигнал должен иметь высокий логический уровень.

При разработке программы электроавтоматики станка, необходимо учитывать основные принципы и особенности работы программируемого логического контроллера ЧПУ Fagor. Принимая во внимание все рекомендации производителя и методологию написания программы электроавтоматики, была написана программа.

Результатом данного проекта явилась полностью разработанная функциональная и электрическая схема для комплекта ЧПУ Fagor, для установки на станок 16K20Ф3.

LATHE CUTTING MODERNIZATION

© 2015

V. V. Korolev, the candidate of technical sciences., associate professor
of the chair «Industrial electronics»,

Togliatti state university, Togliatti, (Russia)

R. E. Petrov, electrical engineer,
LLC «Fagor Automeyshn Rus», Moscow, (Russia)

Annotation. The results of the modernization of screw-cutting lathe 16K20F3. Modernization carried out using elements manufactured by Fagor. The calculation and selection of the main electric supply and drive axles as well as the power supply and switching of fiber optic cables. Selected CNC system and software written for it.

Keywords: power supply, modernization of machine tools, optical cable, a programmable logic controller, servo system CNC screw-cutting lathe, electric, motor drive axis, the spindle motor.

УДК 65.011.56:658.51.061.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ И ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИ СМЕННЫХ УЗЛОВ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

© 2015

Д. Г. Левашкин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии
машиностроительного производства»

Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Аннотация. Рассмотрены вопросы обеспечения точности обработки деталей с применением автоматически сменных узлов и перекомпонования рабочей позиции перекомпоновуемых производственных систем. Показано суммирующее влияние точности базирования автоматически сменных узлов и жесткости их корпуса на точность многосторонней обработки деталей. Для решения вопросов многосторонней обработки деталей предложена модель автоматически сменного узла – носителя деталей, для моделирования вопросов обеспечения точности базирования и жесткости корпуса носителя на рабочей позиции перекомпоновуемой производственной системы. Приведена конструкция носителя, выполненного в виде правильной прямоугольной призмы, где на боковых гранях расположены базирующие отверстия, а установку комплекта приспособления и детали выполняют в плоскости каждой грани. При этом обеспечивается пространственная повторяемость положения деталей относительно технологических узлов рабочей позиции и равная жесткость корпуса носителя в направлениях многосторонней обработки деталей. В статье рассмотрена модель системы равнорасположенных базирующих отверстий для моделирования точности базирования носителя. На основе размерного анализа показано влияние взаимного расположения каждого базирующего отверстия носителя на точность обработки детали. Данный аспект является определяющим для реализации многосторонней обработки деталей на носителе. Показано, что на точность многосторонней обработки деталей оказывают влияние силовые смещения корпуса носителя, возникающие вследствие наложения переменных внешних силовых факторов механической обработки. Проведен анализ многообразия направлений силовых воздействий, что позволило определить силовые факторы и говорить об исследовании вариантных схем пространственного нагружения корпуса носителя. Показан переменный характер силового нагружения корпуса носителя, как аспекта, определяющего переменный характер возникающих силовых смещений при многосторонней обработке деталей. Таким образом, совместное рассмотрение представленных аспектов обеспечения жесткости и точности базирования позволит решить задачи обеспечения точности многосторонней обработки деталей на носителях.

Ключевые слова: автоматически сменный модуль, гибкая производственная система, жесткость, многосторонняя обработка деталей, перекомпоновуемые производственные системы, спутник автоматической линии, точность.

Для современных станочных систем характерны быстрая сменяемость технологической базы, расширение номенклатуры выпускаемой продукции, сокращение времени на подготовку производ-

ства, а также внедрение энергоэффективных технологий [1–3].

Результатом такой интеграции является переход от стационарных станочных систем с жест-