

## Точность портального станка ЧПУ

В данной статье попробуем коснуться основных факторов, влияющих на точность портального станка ЧПУ, а также оценки влияния данных факторов.

Точность станка ЧПУ обратно пропорциональна сумме погрешностей, вносимых всеми элементами данного станка. Иными словами, точность станка зависит от погрешностей, которые вносят элементы данного станка.

Стоит также сразу отметить, что точность станка понятие, которое физического смысла не имеет, физический смысл имеет точность изделия/детали, которые получены на этом станке. Далее для того чтобы не путаться в понятиях примем, что *точность станка – это точность изделия и деталей, которые на данном станке могут быть изготовлены.*

*Обычно производители, особенно китайские любят указывать в графе точность, что-то типа:*

*Точность машины 0.01 мм*

*Точность повторного позиционирования 0.03 мм.*

*К сожалению указанные цифры не имеют ничего общего с точностью деталей, которые вы сможете получить на данном станке. Почему? Об этом подробнее дальше.*

Основные элементы портального станка ЧПУ которые вносят погрешность в изготавливаемые детали:

### Режущий инструмент

Как правило это фреза. Как ни странно, но все начинается как раз с фрезы. Для прецизионных фрез допуски составляют порядка 0,008 мм (для концевых фрез диаметром до 8 мм) и 0,03 мм для не прецизионных фрез (для концевых фрез диаметром до 8 мм). Прецизионный режущий инструмент довольно-таки дорог, поэтому примем, что допуск изготовления концевой фрезы составляет 0,03 мм. (данные взяты из [каталога HGT](#) стр. 9.)

### Изгиб режущего инструмента

Да, как это ни странно, но у режущего инструмента существует упругая деформация от воздействия обрабатываемой заготовки на фрезу. Усилия, вызывающие изгиб фрезы, возникают при фрезеровке канавок и полуканавок. Попробуем оценить усилие, которое нужно приложить к трехзаходной фрезе диаметром 10 мм чтобы вызвать максимальную деформацию в 0.01 мм. (Геометрию фрезы можно посмотреть [тут](#), отчет по анализу напряжений для случая нагрузки в 5 кгс можно посмотреть [тут](#)). Величины деформаций получены путем численного моделирования результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Деформация трехзаходной фрезы диаметром 10 мм в зависимости от приложенной нагрузки.

Нагрузка, кгс	Деформация, мм
1	0,006
2	0,013
5	0,032
10	0,063

25-30 (разрушающая нагрузка)	0,187
------------------------------	-------

Из приведенной таблицы видно, что даже при незначительной нагрузке в 2 кгс на фрезе диаметром 10 мм возникают деформации в 0,013 мм. Это усилие характерно для чистового прохода с небольшим съемом материала. Для проходов с основным съемом материала смело можно принимать нагрузку 10 кг, т.е. при черновом съеме материала погрешность составить 0,063 мм.

### Шпиндель

Вернее, биение шпинделя. Обычно при изготовлении шпинделя проводят его испытания в результате которых проводят замеры биения шпинделя на расстоянии 40 мм от цанги, т.е. радиальных колебаний цанги. Данные колебания также вносят дополнительную погрешность. Бумажка с отметкой о результатах биения шпинделя обычно находится в его паспорте. В нашем шпинделе по паспорту биение не должно превышать 0,015 мм.

### Направляющие

Направляющие, у которых в каталоге есть хоть какие-то данные по точности как правило уже имеют форму специализированных рельс, по которым ездят каретки специализированного профиля. К сожалению, цилиндрические направляющие и направляющие в виде цилиндрических рельс не имеют каталожной точности, что не позволяет даже выполнить оценку какова будет точность станка с установленными такими направляющими.

Для рельсовых направляющих HGR производства HiWin точность составляет:

Для класса С – 0,1 мм

Для класса Н – 0,03 мм.

(данные величины взяты из каталога [HiWin](#) таблица 2-1-3).

Уже сейчас забегая вперед можно сказать что переход в направляющих от класса точности С к классу точности Н является самым дешевым вариантом увеличения точности станка на 0,07 мм.

### Шарико-винтовая передача (ШВП)

Одним из самых распространенных вариантов (который для китайских станков считается чуть ли не эталоном качества) является применение ШВП производства HiWin класса точности С7.

Согласно каталогу HiWin, осевой люфт одинарной гайки ШВП (например, FSI-16) составляет 0,07 мм. Но на этом погрешность ШВП не заканчивается, далее есть еще точность изготовления непосредственно самого винта ШВП, и вот тут начинается некоторая специфика. Дело в том, что данная погрешность сопровождается накоплением и как правило указывается на 300 мм длины. Например, согласно того же каталога [HiWin](#) накопленная погрешность на 300 мм длины винта класса точности С7 составляет 0,052 мм. (В тоже время такой же винт но длиной 1500 мм будет иметь накопленную погрешность на всю длину  $5 * 0,052 \text{ мм} = 0,26 \text{ мм}$ ).

### Каркас станка

Вот здесь начинается настоящая алхимия (и «горячее надувательство») недобросовестных производителей станков ЧПУ. Проблема заключается в том, что погрешность (точность) изготовления каркаса станка, а самое главное его жесткость не может быть оценена конечным потребителем и в этой области впаривают конечному потребителю то, на что даже посмотреть страшно, при этом умудряясь на сие чудо техники навесить детальки с надписью HiWin ☺. А

пользователь потом долго пытается понять почему на таком станке круглые отверстия выходят овальными 😊.

Самым распространенным китайским вариантом является применение металлических плит. Некоторые деятели даже умудряются поставить рельсы HGR HiWin на алюминиевые плиты. При этом почему-то забывают заглянуть в каталог HiWin в котором указаны требования к допускам установочных поверхностей. Согласно каталожным требованиям допуск по вертикальным отклонениям базовых поверхностей составляет 85 мкм. (85 микрон!!! Для среднего класса преднатяга картеки), в то время как допуск дюралевой плиты (Согласно [ГОСТ 17232-99 Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов](#)) составляет +- 500 микрон. Далее становится очевидно, что на такой базовой поверхности получить точность 0,1 мм даже для класса направляющих соответствующих классу С не представляется возможным. Единственным бюджетным выходом из сложившейся ситуации – это применение экструдированного алюминиевого профиля. Данный профиль имеет куда меньшие погрешности изготовления, но самое главное, что такой профиль с помощью специальных приспособлений может быть выставлен с точностью 85 микрон.

(к сожалению алюминиевый профиль обладает другим значительным недостатком, а именно – он очень сильно подвержен вибрации, что сказывается крайне плохо на работе станка, но об этом в другой статье)

#### Прогиб дюралевой плиты

Попробуем оценить прочностные характеристики профиля 90x60 мм и дюралевой плиты Д16Т различной толщины.

Зададимся нагрузкой в 25 кгс на фрезу в трех перпендикулярных направлениях и попробуем определить какой прогиб будут давать те или иные элементы станка и попробует сформировать общие рекомендации для несущих элементов станков.

В качестве первого элемента рассмотрим несущий элемент по оси X (в данном случае ось X является осью, совпадающей с одноименной осью привычных декартовых координат и не является самой длинной осью станка). Длина оси 820 мм. Сдвиг рельс HGR 20 друг относительно друга составляет 140 мм. Геометрию для дюралевой плиты можно посмотреть [тут](#), геометрию для алюминиевого профиля можно посмотреть [тут](#). Величины деформаций получены путем численного моделирования, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты численного моделирования деформации несущих по оси X длиной 820 мм

Тип несущей	Максимальная деформация, мм	Файл отчета
Дюралевая плита Д16Т толщина 10 мм	0,048	<a href="#">Отчет</a>
Дюралевая плита Д16Т толщина 12 мм	0,040	<a href="#">Отчет</a>
Дюралевая плита Д16Т толщина 14 мм	0,033	<a href="#">Отчет</a>
Дюралевая плита Д16Т толщина 16 мм	0,026	<a href="#">Отчет</a>
Дюралевая плита Д16Т толщина 18 мм	0,023	<a href="#">Отчет</a>
Дюралевая плита Д16Т толщина 20 мм	0,020	<a href="#">Отчет</a>
Алюминиевый профиль 90x60 мм	0,018	<a href="#">Отчет</a>

На основании результатов расчета можно сделать вывод, что применение станочного профиля оказывается в ряде случаев более целесообразно. Более того, станочный профиль в силу точности изготовления, а также возможности установки с помощью специальных приспособлений с

допуском 85 микрон оказывает вообще вне конкуренции, поскольку плит с точностью изготовления 85 микрон в природе не существует.

Конечно возможен вариант, когда в качестве базовой поверхности будет использоваться фрезерованная плита из черной стали или чугуна. Такой вариант применяется в дорогих станках, но это уже совершенно другой ценовой сегмент.

#### Прогиб профиля рабочего стола станка

Профиль, которым покрыт рабочий стол станка является одним из самых критичных элементов станка, поскольку его прогиб очень сложно компенсируется финальными проходами фрезы, а в ряде случаев такая компенсация вообще невозможна.

Рассмотрим в качестве примера профиль толщиной 20 мм шириной 80 мм и попробуем оценить какой будет его прогиб при нагрузке от фрезы в 25 кгс. Геометрию профиля можно посмотреть [тут](#).

Таблица 3. Прогиб профиля рабочего стола станка.

Длина профиля, мм	Максимальная деформация, мм	Файл отчета
1200	0,661	<a href="#">Отчет</a>
1000	0,388	<a href="#">Отчет</a>
800	0,203	<a href="#">Отчет</a>
600	0,086	<a href="#">Отчет</a>
500	0,050	<a href="#">Отчет</a>
400	0,027	<a href="#">Отчет</a>
300	0,013	<a href="#">Отчет</a>

Только за счет упругой деформации профиля рабочего стола точность станка снижается довольно значительно. Примем, что величина допустимых упругих механических деформаций не должна превышать 0,02 мм. В этом случае пролет профиля не должен превышать 300 мм.

Теперь ради интереса можно взглянуть, что предлагает китайская промышленность:



Рисунок 1. Типичный представитель любительского станка ЧПУ, китайского производства.

При длине рабочей области в 900 мм, длина профиля составляет порядка 1200 мм, т.е. прогиб можно прогнозировать на уровне 0,661 мм. 😊 Хотя бы поперек стол замостили 😊, в этом случае прогиб был бы примерно в 3 раза меньше и составил 0,2 мм.

## Вывод

Далее сведем все полученные погрешности всех элементов в таблицу:

Таблица 4. Сводка погрешностей элементов портального станка ЧПУ.

Номер	Наименование	Погрешность, мм
1	Режущий инструмент	0,03
2	Деформация режущего инструмента под нагрузкой при чистовых проходах	0,013
3	Биение шпинделя	0,015
4	Точность направляющих	0,03
5	Точность винта ШВП	0,052 (на каждые 300 мм длины)
6	Люфт гайки ШВП	0,07
7	Максимальная механическая деформация станка	0,015

Таким образом гарантированная точность станка по оси с рабочей зоной 900 мм составит:

$$0,03+0,013+0,015+0,03+0,052*3+0,07+0,015=0,329 \text{ мм.}$$

Гарантированная точность станка по оси с рабочей зоной 600 мм составит:

$$0,03+0,013+0,015+0,03+0,052*2+0,07+0,015=0,277 \text{ мм.}$$

Гарантированная точность станка по оси с рабочей зоной 300 мм составит:

$$0,03+0,013+0,015+0,03+0,052*1+0,07+0,015=0,225 \text{ мм.}$$

Вот это те гарантированные точности конечных изделий, которые можно получить на станке с рельсовыми направляющими класса точности Н, винтами ШВП класса точности С7 на которых установлены одинарные гайки при условии, что все элементы станка имеют заранее заданные прочностные характеристики и все установочные поверхности соответствуют требованиям каталогов производителей.

*Думаю, после прочтения данной статьи Вы сможете более компетентно оценивать точность, которую можно получить на том или ином станке и не поддаваться на красивые цифры в спецификациях китайских умельцев которые обещают точность машины на уровне 0,01 мм.* (кстати станки высокой точности и особо высокой точности, к которым согласно ГОСТ 8-82 будет относиться станок с рабочим полем 900мм и погрешностью 10 мкм, например, в США можно купить только при условии, что данную сделку одобрит конгресс США).

В дополнение к приведенному материалу стоит добавить, что в рассматриваемом варианте были опущены технические ляпы, которые умудряются допускать некоторые сборщики станков, а именно:

1. Не допускается передача осевых нагрузок ШВП на подшипники приводных двигателей. Во-первых, в подшипниках приводных двигателей не устанавливают радиально упорных подшипников в силу чего двигатели имеют крайне низкую осевую несущую способность (по некоторым данным порядка 10 кгс), а также радиальные подшипники не позволяют компенсировать осевой люфт, который устраняется при «правильном» креплении винта ШВП. Как «правильно» должен быть закреплен вал ШВП можно посмотреть в каталоге [HiWin](#) или [ТНК](#).