

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ЗА СЧЕТ МОДИФИКАЦИИ ЕГО КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ

А.Е. Образцов

obrazcow2@mail.ru  
SPIN-код: 8338-4628

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрены различные способы повышения главных функциональных качеств станка — его точности и производительности, которые, в свою очередь, зависят от наличия консолей, положения центра масс станка и распределения числа координатных осей между несущими системами главного движения и движения подачи. Описаны случаи повышения и потери жесткости для несущей системы станка. Рассмотрены примеры наличия и отсутствия консоли. Описано влияние положения центра масс на возможности станка. Показано компоновочное решение станка Takisawa TMT 4500 TT, выполнен его анализ. Представлено переработанное компоновочное решение конструкции многоцелевого токарно-фрезерного станка с приводным инструментом, которое должно способствовать повышению его точности и производительности. Сделаны выводы о проделанной работе.

### Ключевые слова

Токарно-фрезерный станок, точность станка, производительность станка, компоновка, компоновочное решение, жесткость станка, центр масс, консоль

Поступила в редакцию 16.05.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

---

**Введение.** Существуют различные способы повышения точности и производительности станка. Одни из них можно применить к изготовленному станку, в то время как другие доступны только на стадии проектирования. Например, использование возможностей системы числового программного управления (ЧПУ) для коррекции погрешности шага винта относится к случаю, когда станок уже изготовлен, в то время как изменение компоновочного решения станка возможно только на стадии его проектирования.

С течением времени повышаются требования к точности и производительности станка — его главному функциональному качеству. Каждые 20 лет точность станка возрастает на порядок [1], в настоящее время станки вышли на уровень микронной и субмикронной точности обработки [2]. По этой причине возникает вопрос о максимально полном использовании всех возможных путей повышения точности станка.

В специальной литературе мало работ, посвященных вопросам компоновки станков [3]. В известных публикациях компоновочное решение совершенствуется за счет оптимизации параметров существующей [4] или незначительного совершенствования конструкции станка [5]. Во всех этих случаях конструкция станка радикально не меняется.

В данной статье рассмотрим такие способы оценки влияния компоновки станка, которые дают возможность сильно изменить внешний вид станка. В некоторых случаях это позволит добиться большего роста точности и производительности оборудования, чем применение локальных модификаций. В качестве практического примера рассмотрим пример модернизации компоновочного решения многоцелевого токарно-фрезерного станка с ЧПУ.

**Влияние компоновки на точность и производительность станка.** Оценим влияние на точность и производительность станка трех факторов:

- 1) распределения числа координатных осей между несущими подсистемами станка;
- 2) наличия консолей в конструкции станка;
- 3) положения центра масс станка.

**Влияние распределения числа координатных осей между несущими подсистемами станка на его точность.** Не все детали станка определяют качество его работы. Например, кожух станка не влияет на точность и скорость изготовления деталей. Убрав из конструкции станка детали, не влияющие на точность и производительность, получим несущую систему станка.

Несущая система станка — это те детали и узлы его конструкции, которые воспринимают нагрузку из зоны резания и оказывают влияние на точность и производительность станка. В несущей системе станка можно выделить две подсистемы: несущая система главного движения и несущая система позиционирования. Несущая система главного движения включает в себя узел, осуществляющий главное движение на станке, и перемещающие его узлы. Например, на вертикально-фрезерном станке главным движением является вращение инструмента. Пусть инструмент вращается в шпинделе, который может перемещаться по вертикали. Соответственно, несущая система главного движения будет включать в себя шпиндель и суппорт для его вертикального перемещения. Несущая система позиционирования включает в себя узлы, осуществляющие движение подачи. Например, на токарно-фрезерном станке револьверная головка и стол, на котором она перемещается вдоль или поперек оси, будут относиться к несущей системе позиционирования.

В теории точных станков показано, что станок — это система с последовательной схемой связи [6]. По этой причине жесткость станка будет ниже жесткости самого слабого звена. Нет необходимости повышать жесткость всего станка — необходимо и достаточно повысить жесткость только слабого звена.

Жесткость станка теряется в первую очередь в стыках, которые дают до 80 % всех силовых смещений [7]. Чем больше стыков — тем ниже жесткость.

При установке одного узла станка на другой (например, поворотный стол устанавливают на поперечный, поперечный — на продольный), тем самым увеличивают суммарное число стыков в несущей системе главного движения или позиционирования. Чем больше координатных узлов установлено друг на друга, тем сложнее конструкция и ниже ее жесткость. Например, несущая система, состоящая из одного неподвижного шпинделя на станине станка, будет гораздо жестче, чем несущая система, представляющая собой шпиндель на одно- или двухкоординатном столе.

Наибольшую жесткость станка можно получить, когда жесткости несущей системы главного движения и несущей системы позиционирования строго равны друг другу. В этом случае не будет слабого звена. В реальной конструкции строгого равенства обеспечить не получится, и следует стремиться к тому, чтобы жесткости несущей системы главного движения и позиционирования различались как можно меньше.

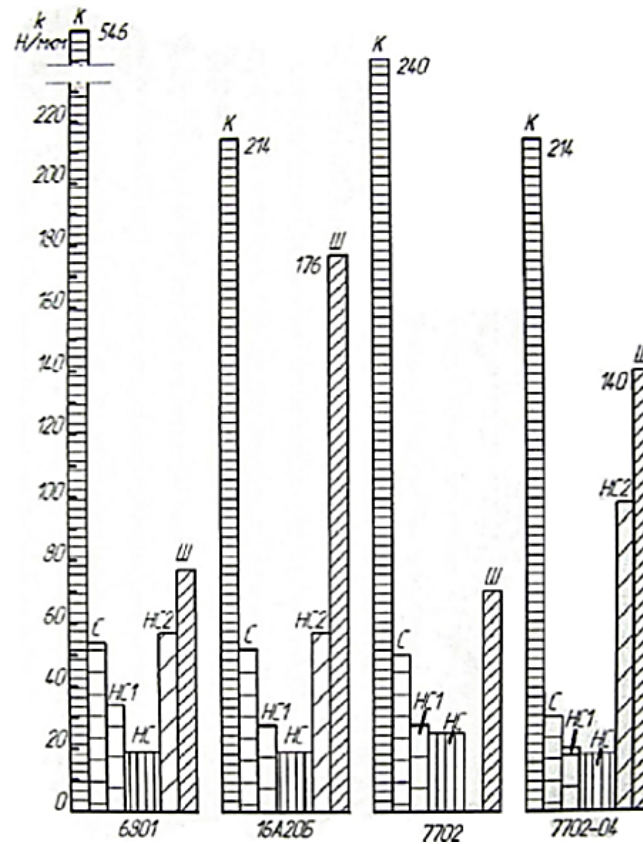
Чем больше координатных осей включает в себя конструкция несущей системы, тем ниже ее жесткость. Соответственно, жесткости несущей системы позиционирования и главного движения будут примерно равны, если они будут содержать одинаковое число координатных осей. Например, в четырехкоординатном станке следует сделать так, чтобы несущая система главного движения содержала две координаты и несущая система позиционирования также содержала две координаты. Если число координат в станке нечетно, например, равно пяти, то при наилучшем решении число координат между несущими подсистемами должно различаться не больше чем на единицу. Например, несущая система главного движения содержит две координаты, а несущая система позиционирования — три, или наоборот.

Например, на токарном станке 16К20 несущая система, состоящая из одного неподвижного шпинделя на станине станка, будет гораздо жестче, чем несущая система, представляющая собой шпиндель на одно- или двухкоординатном столе (рис. 1) [8].

**Влияние наличия консолей в конструкции станка на его точность.** Любая консоль в конструкции станка негативно влияет на его точность. Прогиб консоли пропорционален кубу ее длины. Даже немного уменьшив длину консоли, можно добиться значительного уменьшения отжатий в станке и повысить его точность.

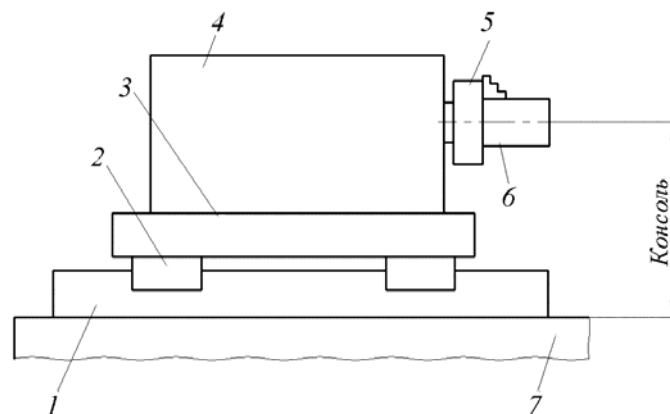
В литературе в качестве консолей принято рассматривать протяженные тела, однако узел или совокупность поставленных друг на друга узлов станка тоже ведет себя как консоль. Длина консоли в этом случае равна расстоянию от основания до плоскости зоны резания (рис. 2).

Во многих случаях данную консоль можно убрать, совместив плоскость, на которой стоят направляющие, с плоскостью зоны резания (рис. 3). Устранив данную консоль, можно значительно повысить точность станка.



**Рис. 1.** Баланс жесткости токарных станков различных моделей:

С — суппорт; HC<sub>1</sub> — несущая система 1; HC<sub>2</sub> — несущая система 2; Ш — шпиндельный узел; К — каретка

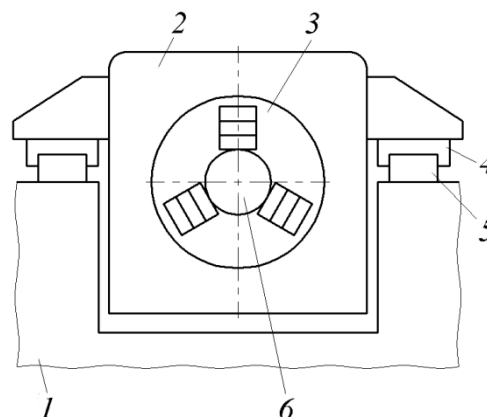


**Рис. 2.** Расположение консоли для совокупности поставленных друг на друга узлов станка:

1 — направляющая; 2 — каретка; 3 — стол; 4 — шпиндель; 5 — патрон; 6 — заготовка; 7 — станина

**Рис. 3.** Пример конструкции, в которой убрана консоль:

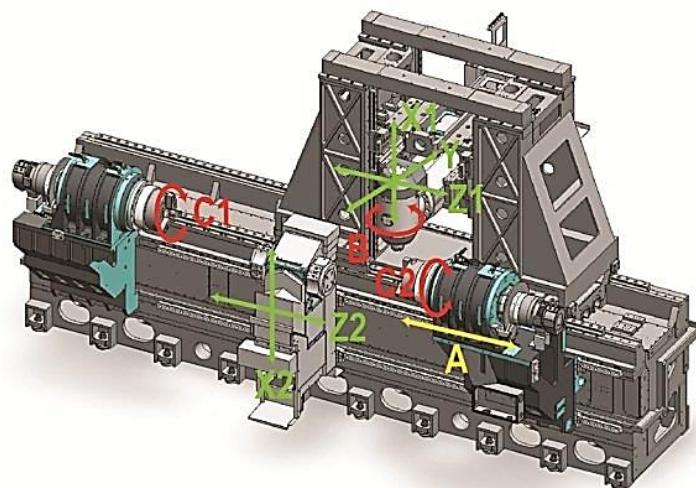
1 — станина; 2 — шпиндель; 3 — патрон; 4 — каретка; 5 — направляющая; 6 — заготовка



**Влияние положения центра масс на производительность станка.** Положение центра масс станка косвенно влияет на его производительность. Чем выше положение центра масс, тем ниже устойчивость станка. В динамике станков показано, что чем меньше устойчивость, тем ниже предельные режимы резания [9]. Последнее означает уменьшение предельной производительности станка.

Данный фактор применяют в анализе компоновочного решения станка следующим образом: при наклоне конструкции станка на  $90^\circ$  влево, вправо или назад положение центра масс станет заметно ниже, таким образом, этот наклоненный вариант обеспечит более высокие предельные режимы резания.

**Анализ конструкции станка-прототипа Takisawa TMT 4500 TT.** В качестве примера для анализа рассмотрим станок Takisawa TMT 4500 TT [10]. Компоновочное решение этого станка представлено на рис. 4.



**Рис. 4.** Компоновочное решение станка Takisawa TMT 4500 TT

Проанализируем конструкцию этого станка. В сумме он имеет девять управляемых координат (степеней свободы):  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $A$  (линейное горизонтальное перемещение контршпинделя),  $C_1$  (вращение шпиндельного узла),  $C_2$  (вращение контршпинделя) и  $B$  (вращение шпинделя инструментального).

Станок содержит две несущие системы главного движения (неподвижный шпиндель и подвижный контршпиндель) и две несущие системы позиционирования (узел с двумя револьверными головками и узел с фрезерной головкой).

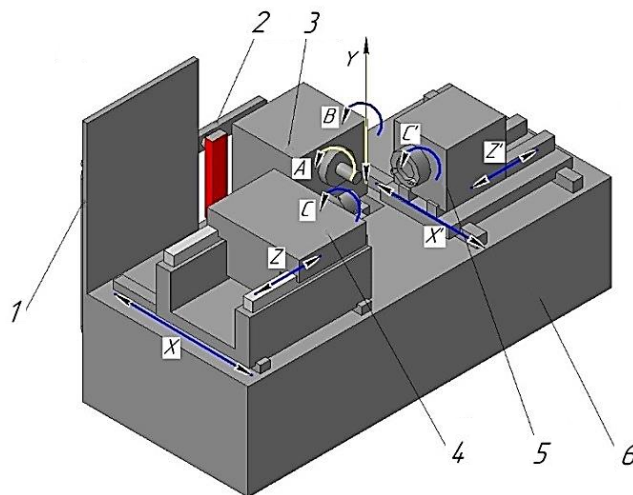
Прежде всего отметим, что координатные оси неравномерно распределены между несущей системой станка. При анализе следует учесть, что узел с двумя револьверными головками на самом деле имеет три координаты (третьей координатой является поворот револьверной головки). С учетом этого получаем следующее распределение числа координат в станке:

- несущая система главного движения (одна и две координаты);
- несущая система позиционирования (три и четыре координаты).

Разница в числе координат больше единицы, соответственно, их распределение не оптимально.

Положение шпинделя и контршпинделя таково, что расстояние от направляющих на вертикальной плоскости до оси детали минимально. Это уменьшает длину консоли. Фрезерная головка расположена над зоной резания. Расстояние от горизонтальной плоскости направляющих до оси  $Y$  будет равно длине консоли. Кроме того, наличие массивного узла для этой головки приводит к повышению положения центра масс станка, что негативно скажется на его предельной производительности.

**Новый вариант компоновочного решения станка.** По результатам анализа компоновочного решения станка-прототипа было решено акцентировать внимание на оптимальном распределении числа координат и на изменении положения узлов станка по высоте. В итоге была разработана компоновка, представленная на рис. 5.



**Рис. 5.** Компоновочное решение нового станка:

1 — магазин инструментов; 2 — автооператор; 3 — инструментальный шпиндель (координаты  $Y$ ,  $A$ ,  $B$ ); 4 — шпиндельный узел (координаты  $X$ ,  $Z$ ,  $C$ ); 5 — контршпиндель (координаты  $X'$ ,  $Z'$ ,  $C'$ ); 6 — станина;  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  — линейные координаты;  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $C'$  — круговые координаты;  $A$  — вращение инструментального шпинделя;  $B$  — поворот вокруг оси  $Y$ ;  $C$ ,  $C'$  — вращение шпинделя и контршпинделя соответственно

Шпиндель расположен на столе, изображенном на рис. 3. Контршпиндель стоит на крестовом столе. Фрезерная головка перемещается вертикально и поворачивается. Позади фрезерной головки стоит магазин инструмента.

Обе несущие системы главного движения имеют по три координаты, несущая система позиционирования здесь всего одна, и она имеет две координаты. Разница в числе координат теперь равна единице, т. е. распределение координат стало оптимальным.

Вертикальная плоскость станка теперь используется для вертикального перемещения фрезерной головки. Это позволяет уменьшить высоту центра масс станка, что способствует росту его предельной производительности.

Револьверные головки убраны и заменены магазином инструмента. Револьверная головка по факту — это магазин инструмента. Конструкция револьверной головки сложнее, чем шпинделя, стыков больше и жесткость ниже. Получается, что в станке-прототипе магазин инструмента влияет на точность станка. Реализовав смену инструмента как на фрезерном станке, мы убрали фактор, снижающий точность этого станка.

**Выводы.** Анализируя рассмотренные факторы — распределение числа координат, наличие консолей и положение центра масс, — можно выявить принципиальные ограничения в конструкции станка, сильно и новаторски модифицировать его конструкцию. Последнее должно помочь в поиске принципиально новых конструкций станков и способствовать выходу на новые рубежи в достижении высокого функционального качества станков — повышения их точности и производительности.

## Литература

- [1] Гаврилов В.А. *Расчет и испытание станков на точность*. Омск, Изд-во ОмГТУ, 2004, 91 с.
- [2] Захаревич Е., Шавва М., Лапшин В., Грубый С. Ультрапрецизионная алмазная обработка хрупких материалов в нанометров диапазоне толщин срезаемого слоя. *Станкоинструмент*, 2016, № 3, с. 60–65.
- [3] Реченко Д.С., Попов А.Ю. Компонировка высокоскоростного оборудования. *Омский научный вестник*, 2010, № 3(93), с. 113–115.
- [4] Лукина С.В., Иванников С.Н., Манаенков И.В. Повышение эффективности многокоординатной обработки путем оптимизации компоновки много осевой станочной системы. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2014, т. 2, № 2(20), с. 34–37.
- [5] Акмаев О.К., Еникеев Б.А. Расширение технологических возможностей многоцелевого станка токарной группы. *Вестник УГАТУ*, 2012, т. 16, № 4(49), с. 18–23.
- [6] Чернянский П.М. *Основы проектирования точных станков. Теория и расчет*. Москва, КНОРУС, 2013, 240 с.
- [7] Анализ компоновки станка. URL: <https://agsh.ru/MT1/mechanisms/machine-layout/> (дата обращения 09.03.2018).
- [8] Ветров С.И., Дауге В.Т., Чермянский П.М. Технические характеристики современных токарных станков. *Технология машиностроения*, 2009, № 6, с. 20–23.

- [9] Базров Б.М. *Расчет точности машин на ЭВМ*. Москва, Машиностроение, 1984, 256 с.  
[10] Токарно-фрезерный станок с ЧПУ Takisawa TMT 4500.  
URL: <https://deg.ru/catalog/id1630> (дата обращения 09.03.2018).

**Образцов Александр Евгеньевич** — студент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Ширшов Андрей Геннадьевич, ассистент, преподаватель кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Баумана, Москва, Российская Федерация.



## IMPROVING THE ACCURACY AND EFFICIENCY OF THE TURN-MILLING MACHINE DUE TO MODIFYING ITS LAYOUT ARRANGEMENT

A.E. Obraztsov

obrazcow2@mail.ru

SPIN-code: 8338-4628

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The paper considers different ways of improving the main functional qualities of the machine-tool, namely its accuracy and efficiency, which, in their turn, depend on the availability of consoles, the position of the machine-tool's center of mass and the counting distribution of coordinate axes between the carrying systems of the working motion and the feed motion. The work describes the cases of increasing and losing the stiffness for the machine-tool's carrying system. We consider the examples of availability and non-availability of the console. The article describes the impact of the center of mass position on the machine-tool's capabilities. It shows the layout arrangement of the machine-tool TakisawaTMT 4500 TT and carries out its analysis. The authors introduce the modified layout arrangement of the construction of multifunction turn-milling machine with the power-driven tool, which must contribute to increasing its accuracy and efficiency. We draw conclusions about the accomplished work.

### Keywords

Turn-milling machine, machine-tool's accuracy, machine-tool's efficiency, arrangement, layout arrangement, stiffness of the machine-tool, center of mass, console

Received 16.05.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

---

### References

- [1] Gavrilov V.A. Raschet i ispytanie stankov na tochnost' [Machines calculation and strength test]. Omsk, OmSTU publ., 2004, 91 p.
- [2] Zakharevich E., Shavva M., Lapshin V., Grubby pp. Ultra precision diamond processing of brittle materials in thickness nanometer range of cutting layer. *Stankoinstrument*, 2016, no. 3, pp. 60–65.
- [3] Rechenko D.S., Popov A.Yu. Configuration of high-speed equipment. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2010, no. 3(93), pp. 113–115.
- [4] Lukina S.V., Ivannikov S.N., Manaenkov I.V. Improvement of multi-dimensional processing efficiency by layout optimization of multi-axis machine tools. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2014, vol. 2, no. 2(20), pp. 34–37.
- [5] Akmaev O.K., Enikeev B.A. The enhancing of technological capabilities of multi-purpose turning group machines. *Vestnik UGATU*, 2012, vol. 16, no. 4(49), pp. 18–23.
- [6] Chernyanskiy P.M. Osnovy proektirovaniya tochnykh stankov. Teoriya i raschet [Fundamentals of turning machine designing. Theory and calculation]. Moscow, KNORUS publ., 2013, 240 p.
- [7] Analiz komponovki stanka [Analysis of market arrangement]. Available at: <https://agsh.ru/MT1/mechanisms/machine-layout/> (accessed 09 March 2018).

- [8] Vetrov S.I., Dauge V.T., Chermyanskiy P.M. Technical characteristics of modern turning machines. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2009, no. 6, pp. 20-23.
- [9] Bazrov B.M. Raschet tochnosti mashin na EVM [Computer calculation of machines accuracy]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1984, 256 p.
- [10] Tokarno-frezernyy stanok s ChPU Takisawa TMT 4500 [Turn-milling machine with Takisawa TMT 4500 CNC]. Available at: <https://deg.ru/catalog/id1630> (accessed 09 March 2018).

**Obratsov A.E.** — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — A.G. Shirshov, Assistant, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.