

УДК 621.923.01

Модернизация фрезерных станков с ЧПУ

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, 440026, Российская Федерация

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2026-0-8-13-20

Поступила в редакцию 20.01.2026

После доработки 18.03.2026

Принята к публикации 05.05.2026

В статье отражены особенности модернизации фрезерных станков с ЧПУ путем замены двигателя привода главного движения, что значительно упрощает конфигурацию станка, делает станок более точным и намного упрощает сборку и работу на станке.

Ключевые слова: особенности модернизации фрезерного станка с ЧПУ, привод главного движения, конфигурация станка.

The paper considers the features of modernization of computer numerical control (CNC) milling machines through replacement of the main drive motor. This approach significantly simplifies the machine configuration, improves machining accuracy, and facilitates both assembly and operation.

Keywords: CNC milling machine modernization, main drive, machine configuration.

Введение

Станок консольный вертикальный нормальной точности предназначен для многооперационной обработки деталей сложной конфигурации из стали, чугуна, цветных

и легких сплавов в замкнутом полуавтоматическом цикле. Наряду с фрезерными операциями, на станке можно производить сверление, зенкерование, развертывание и растачивание точных отверстий, связанных координатами, а также нарезание резьбы. Станок можно использовать в индивидуальном и серийном производствах. Общий вид станка представлен на рис. 1.

Компоновка станка консольного типа с вертикально-подвижным, перемещающимся по программе ползуном и продольно-поперечно-подвижным столом представлена на рис. 2.

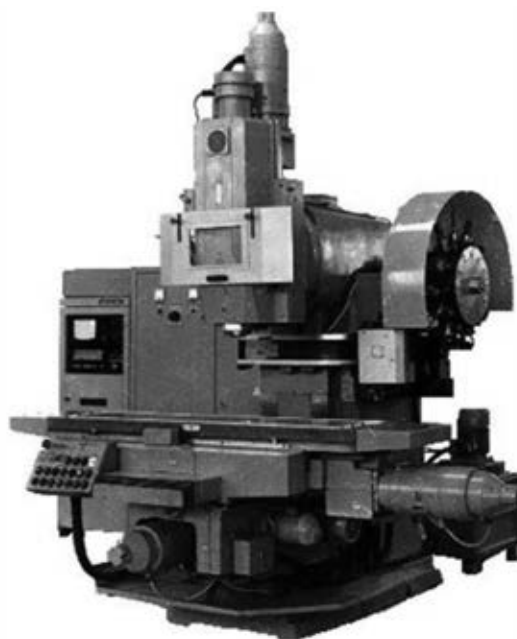


Рис. 1. Общий вид станка модели ГФ2171С5

Материалы и методы

Привод главного движения осуществляется от асинхронного электродвигателя М1 через коробку скоростей, дающую 18 частот вращения шпинделя. Приводы подач осуществляются от высокомоментных электродвигателей М2, М3, М4 (рис. 3). Вертикальное перемещение консоли (уста-

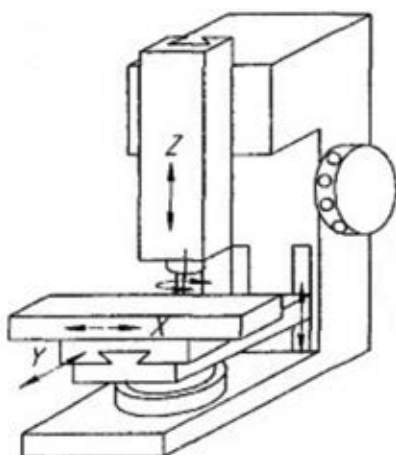


Рис. 2. Компоновка станка модели ГФ2171С5

новочное) выполняется от электродвигателя М5.

Дополнительные возможности станка:

- ручное управление перемещением координат от выносного маховика;
- подключение контрольно-измерительного щупа типа SOND I 3D;
- возможность ввода технологических программ с гибких магнитных дисков FD 3,5;
- хранение технологических программ на жестком магнитном диске емкостью от 5 до 20 Гб.

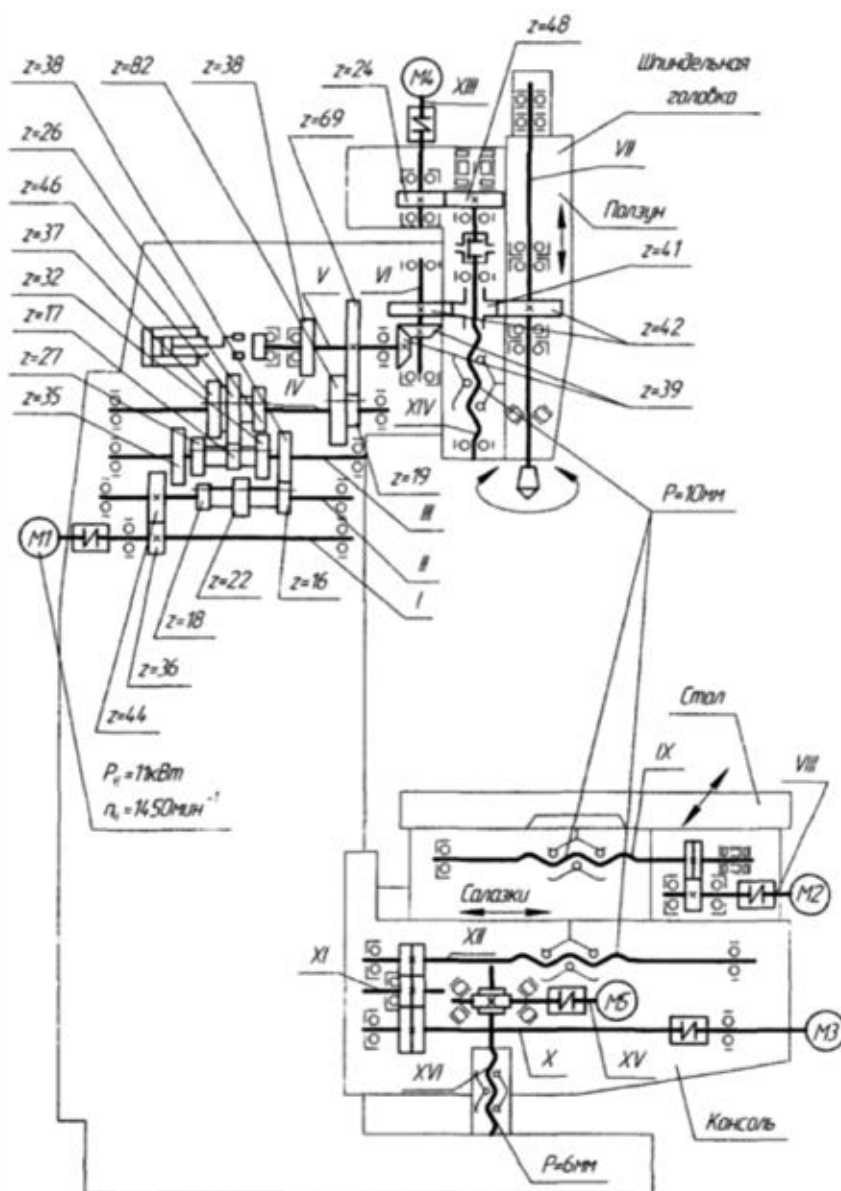


Рис. 3. Кинематическая схема станка модели ГФ2171С5

Технические характеристики станка модели ГФ2171С5 приведены в таблице.

В плане модернизации станка с ЧПУ предложен регулируемый двигатель вместо асинхронного двигателя. На фрезерных станках с ЧПУ, близких к обрабатывающим центрам, и на обрабатывающих в качестве приводов главного движения используют асинхронные двух- и трехскоростные двигатели. В сочетании с коробкой скоростей, имеющей электромагнитные муфты, они обеспечивают необходимые частоты вращения шпинделя. Недостатком таких приводов являются большие размеры коробки скоростей, ее сложность и невысокая надежность. Кроме того, число частот вращения не отвечает требованиям оптимальной скорости резания для обрабатывающих центров и фрезерных станков с ЧПУ. Из большого разнообразия способов осуществления главного движения для обрабатывающих центров используют следующие: переключение передач с помощью передвижных зубчатых колес и их блоков; смешанная схема переключения с помощью передвижных и сменных колес; переключение с помощью электромагнитных муфт; изменение частоты вращения шпинделя с помощью многоскоростных двигателей и переключения электромагнитных муфт: бесступенчатое регулирование двигателей переменного тока изменением частоты питающего тока; бесступенчатое регулирование двигателей постоянного тока и переключения блоков зубчатых колес; комбинированная система, состоящая из двигателя постоянного тока, зубчатых переключаемых блоков и передачи вращения зубчатым ремнем. Для обеспечения всех требований к приводам главного движения необходимо применять метод тиристорного регулирования частот вращения с помощью двигателя постоянного тока и переключения зубчатых блоков коробки скоростей. Комбинированный привод станка сочетает в себе ступенчатую коробку скоростей и регулируемый двигатель с ти-

ристорным или частотным регулированием. Наибольшее распространение получили приводы, состоящие из ступенчатой коробки и электродвигателя постоянного тока с тиристорным управлением [1—3].

Диапазон регулирования привода [1]:

$$R_{\pi} = R_{\text{дв}} \cdot R_{\kappa},$$

где $R_{\text{дв}}$ — диапазон регулирования двигателя; R_{κ} — диапазон регулирования коробки.

Из этого следует, что двигатель является основной группой, а коробка скоростей — первой переборной группой, для которой знаменатель ряда $\phi_{\kappa} = R_{\text{дв}} \cdot \phi$ [1—3].

Определяем максимальную частоту вращения шпинделя [1—3]:

$$n_{\text{шп(max)}} = R_{\pi} \cdot n_{\text{шп(min)}},$$

где $R_{\pi} = 90$ — диапазон регулирования привода; $n_{\text{шп(min)}} = 40 \text{ мин}^{-1}$ — минимальная частота вращения шпинделя.

Тогда:

$$n_{\text{шп(max)}} = 90 \cdot 40 = 3600 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем мощность двигателя [1—4]:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{эф}}}{\eta},$$

где $P_{\text{эф}} = 8 \text{ кВт}$ — эффективная мощность резания (по заданию); η — КПД привода.

Для расчета мощности двигателя ориентировочно принимаем КПД привода равным $\eta = 0,80\text{—}0,85$ [1—4], принимаем $\eta = 0,80$.

Следовательно,

$$P_{\text{дв}} = \frac{8}{0,80} = 10 \text{ кВт}.$$

Выбирают двигатель типа 2ПН200L [2], у которого $P_{\text{дв}} = 11 \text{ кВт}$; $n_{\text{дв(max)}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$ — максимальная частота вращения двигателя при постоянной мощности; $n_{\text{дв(ном)}} = 750 \text{ мин}^{-1}$ — номинальная частота вращения двигателя при постоянной мощности; $d_{1\text{дв}} = 48 \text{ мм}$ — диаметр выходного конца вала двигателя [2].

Технические характеристики станка модели ГФ2171С5

Класс точности по ГОСТ 8—82	Н
Модель устройства ЧПУ	2С45-65
Количество управляемых координат	3/2
Количество одновременно управляемых координат при линейной/круговой интерполяции	2
Наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до стола, мм	500
Расстояние от оси шпинделя до вертикальных направляющих станины (вылет), мм	850×250×380
Предельные размеры обрабатываемых поверхностей (длина×ширина×высота), мм	400
Размеры рабочей поверхности стола (длина×ширина), мм	1600×400
Число Т-образных пазов, размеры Т-образных пазов	3
Наибольшее продольное перемещение стола (X), мм	1010
Наибольшее поперечное перемещение стола (Y), мм	400
Наибольшее вертикальное перемещение стола (установка) (Z), мм	250
Наибольшее перемещение ползуна (Z), мм	260
Предел рабочих подач стола и ползуна, мм/мин	3—6000
Скорость быстрых перемещений стола (X , Y)/ползуна (Z), мм/мин	7000
Допустимое усилие подачи по координате X и Y , Н	15690
Допустимое усилие подачи по координате Z , Н	9806
Точность позиционирования, мм	0,015
Частота вращения шпинделя, об/мин (число ступеней)	18
Количество скоростей шпинделя	0,615
Наибольший крутящий момент, кНм	50
Коэффициент ряда выходных частот вращения шпинделя	1,26
Емкость магазина инструмента	12
Время смены инструмента, с	20
Максимальный диаметр фрезы торцовой, мм	125
Максимальный диаметр фрезы концевой, мм	40
Максимальный диаметр сверла, мм	30
Максимальный вес инструмента, кг	15
Вылет инструмента от торца шпинделя, мм, не более	250
Электродвигатель привода главного движения, кВт (об/мин)	7,5 (1450)
Электродвигатели привода подач $HG-112B$, $HG-112C$ (оси X , Y), Нм	17
Электродвигатели привода подач ползуна $HG-112C$ (ось Z), Нм	23
Электродвигатель наладочного перемещения консоли, кВт (об/мин)	2,2 (1450)
Электродвигатель гидростанции, кВт (об/мин)	2,2 (1450)
Электродвигатель насоса смазки, кВт (об/мин)	0,27 (1500)
Электронасос охлаждающей жидкости, мощность, кВт	0,12 (2800)
Производительность насоса СОЖ, л/мин	8
Тип гидростанции	5АГ48-22Н
Габариты станка (длина ширина высота), мм	3680×4170×3150
Масса станка, кг	6580

Определяем диапазон регулирования двигателя при постоянной мощности [1—5]:

$$R_{\text{дв}(P)} = \frac{n_{\text{дв}(\text{max})}}{n_{\text{дв}(\text{ном})}},$$

$$R_{\text{дв}(P)} = \frac{3000}{750} = 4.$$

Определяем диапазон регулирования коробки скоростей [1—5]:

$$R_k = \frac{R_{\text{п}}}{R_{\text{дв}(P)}},$$

$$R_k = \frac{90}{4} = 22,5.$$

Определяем число скоростей коробки [1—3]:

$$z = \frac{\lg R_{\text{п}}}{\lg R_{\text{дв}(P)}},$$

$$z = \frac{\lg 90}{\lg 4} = 3,25.$$

Принимаем $z = 3$.

Чтобы выбрать знаменатель ряда ϕ , можно воспользоваться следующими рекомендациями [1]: для токарных и токарно-винторезных станков $\phi = 1,26$; для токарно-револьверных станков в зависимости от диаметра обработки $\phi = 1,41$ и $\phi = 1,58$; для сверлильных станков всех типов с диаметром сверления более 18 мм $\phi = 1,41$; для фрезерных станков всех типов $\phi = 1,26$; для многооперационных станков $\phi = 1,26$ и $\phi = 1,41$.

Принимаем $\phi = 1,26$.

Определяем величину c [1—3]:

$$c = \frac{\lg R_{\text{дв}(P)}}{\lg \phi},$$

$$c = \frac{\lg 4}{\lg 1,26} = 5,99.$$

Принимаем $c = 6$.

Определяем число интервалов $\lg \phi$, которые пересекают на графике частот вращения лучи, изображающие передачи последней группы [3]:

$$K_m = \frac{\lg R_m}{\lg \phi} = \frac{\lg R_{\Gamma}}{\lg \phi},$$

где R_m, R_{Γ} — диапазон регулирования групп передач.

Так как коробка имеет одну группу, то согласно [3]:

$$K_m = \frac{\lg R_k}{\lg \phi},$$

$$K_m = \frac{\lg 22,5}{\lg 1,26} = 13,52.$$

Округляем до $K_m = 14$.

Однако при $\phi = 1,26$ число интервалов $\lg \phi$, которые пересекают на графике частот вращения лучи, изображающие передачи группы, не может превышать 9 [3]. Поэтому принимаем $K_m = 9$. Оставшиеся 5 интервалов можно получить при регулировании двигателя в зоне с постоянным моментом.

Определяем фактические диапазоны регулирования коробки скоростей и привода в целом [4—7]:

$$R_{k(\phi)} = R_j \cdot \phi^{K_m},$$

$$R_j = R_a R_b \dots R_{m-1} = R_N^{\varepsilon},$$

где R_j — диапазон регулирования на последнем валу,

$$\varepsilon = (p_a - 1)x_a + (p_b - 1)x_b + \dots + (p_{m-1} - 1)x_{m-1},$$

$$R_{\text{п}(\phi)} = R_{\text{дв}(P)} \cdot R_{k(\phi)}.$$

Фактический диапазон регулирования коробки $R_{k(\phi)} = R_a \phi^{K_m}$; в нашем случае $R_a = 1$, $\phi = 1,26$, $K_m = 9$, следовательно,

$$R_{k(\phi)} = 1 \phi^9 = 1 \cdot 1,26^9 = 8 [3].$$

Тогда, диапазон регулирования привода можно определить так:

$$R_{\text{п}(\phi)} = 4 \cdot 8 = 32.$$

Определяем число K_1 интервалов между максимальной частотой вращения шпинделя и максимальной частотой вращения двигателя, а также число K_2 интервалов между

максимальной и минимальной частотами вращения шпинделя [3]:

$$K_1 = \frac{\lg(n_{\text{дв(max)}}/n_{\text{дв(max)}})}{\lg \varphi},$$

$$K_2 = \frac{\lg R_{\text{п(ф)}}}{\lg \varphi}.$$

Рассчитанные значения K_1 и K_2 округляем до ближайшего большего целого [3].

Следовательно,

$$K_1 = \frac{\lg(3000/3600)}{\lg 1,26} = 0,83,$$

принимаем $K_1 = 1$.

$$K_2 = \frac{\lg 32}{\lg 1,26} = 14,996,$$

принимаем $K_2 = 15$.

Определяем общее число интервалов [1—3]:

$$K_{\text{общ}} = K_2,$$

$$K_{\text{общ}} = 15.$$

Следовательно, график частот вращения шпинделя должен иметь 16 горизонтальных линий, с интервалом, равным $\lg 1,26$, для диапазона работы двигателя с постоянной мощностью.

Для того чтобы регулирование частоты вращения шпинделя во всем диапазоне выполнялось при постоянной мощности, необходимо при построении графика частот вращения следить за тем, чтобы диапазон регулирования в последующей группе был всегда меньше, чем на предыдущем валу [5—8].

В соответствии с работами [1, 4] выбираем ряд частот вращения шпинделя для

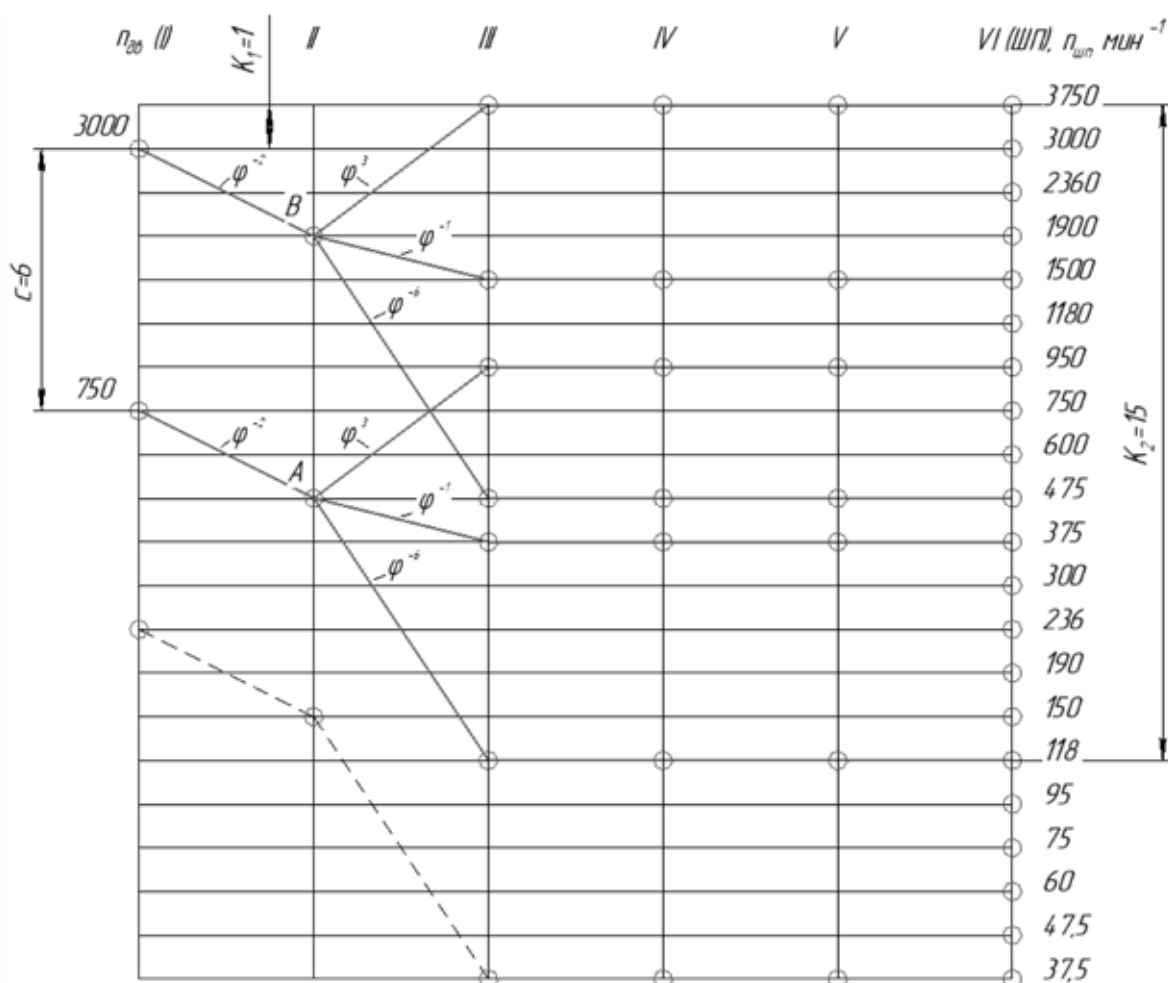


Рис. 4. График частот вращения шпинделя



станка модели ГФ2171С5 в следующем диапазоне: 3750; 3000; 2360; 1900; 1500; 1180; 950; 750; 600; 475; 375; 300; 236; 190; 150; 118 и строим график частот вращения (рис. 4) в следующем порядке.

На вертикальной шкале отмечаем точку максимальной частоты вращения шпинделя $n_{\text{шп(мак)}} = 3750 \text{ мин}^{-1}$ и отсчитываем $K_2 = 15$, определяем точку $n_{\text{шп}} = 118 \text{ мин}^{-1}$.

Из этой точки проводим луч на 6 интервалов вверх по II валу до точки А (точка $n_{\text{шп}} = 475 \text{ мин}^{-1}$). Всего интервалов, соответствующих диапазону регулирования группы, равно 9. Поэтому из точки А проводим луч на три ($9 - 6 = 3$) интервала вверх в точку, соответствующую частоте вращения шпинделя $n_{\text{шп}} = 950 \text{ мин}^{-1}$. Далее диапазон регулирования группы делится пополам (в нашем случае это четыре и пять интервалов), т.е. из точки А проводим луч в точку $n_{\text{шп}} = 375 \text{ мин}^{-1}$. Затем из точки А откладываем величину $c = 6$ интервалов вверх по линии II, получаем точку В. Из точки В проводим лучи, параллельные лучам, проведенным из точки А.

Затем точки А и В соединяем с точками, соответствующими максимальным и номинальным оборотам двигателя, и, наконец, от точки номинальных оборотов двигателя откладываем два интервала, проводим лучи, параллельные линиям и лучам, выходящим из точки А. Этим определяется зона работы привода при регулировании с постоянным моментом:

$$\begin{aligned} n_{\text{шп}} &= 95 \text{ мин}^{-1}, n_{\text{шп}} = 75 \text{ мин}^{-1}, \\ n_{\text{шп}} &= 60 \text{ мин}^{-1}, n_{\text{шп}} = 47,5 \text{ мин}^{-1}, \\ n_{\text{шп}} &= 37,5 \text{ мин}^{-1}. \end{aligned}$$

На рис. 5 показана кинематическая схема привода главного движения станка по типу базового модели ГФ2171С5 (z — числа зубьев колес).

Выводы

Предложенная модернизациям многоцелевого станка с ЧПУ позволила значительно упростить коробку, что делает станок более точным, надежным и намного упрощает сборку и работу на станке.

Финансирование работы

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Использование ИИ

Автор данной работы заявляет, что при подготовке статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8—82 Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность.
2. Скрыбин В.А., Павлова Ж.В. Модернизация переносного станка для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей затворов задвижек трубопроводной арматуры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 2. С. 8—13.
3. Скрыбин В.А., Сорокина Н.В., Вихорева А.С., Самсонов И.И. Особенности модернизации многоцелевых станков с ЧПУ // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2025. № 10. С. 20—23.
4. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. Технологическое оборудование машиностроительных производств. Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2013. 548 с.
5. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. Ремонт технологических машин и оборудования. Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2011. 432 с.
6. Стародубов В.С. Точность металлорежущих станков с ЧПУ и способы ее повышения // Вестник машиностроения. 2000. № 5. С. 36—40.
7. Проектирование автоматизированных станков и комплексов: Учебник: В 2 т. Т. 2 / под ред. П.М. Чернянского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 303 с.
8. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А. Ремонт технологического оборудования. Учебник. М.: КУРС: ИНФРА-М, 2018. 352 с.