

УДК 621.763

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-2-5-12>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ ОБОРУДОВАНИЯ НА ИХ ПОДАТЛИВОСТЬ

М. И. МИХАЙЛОВ, Д. А. РОГОВЕНКО, В. А. ПРОКОПОВИЧ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Представлены результаты численного исследования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния направляющих. Варьировались формы поперечных сечений направляющих. Полученные результаты позволяют оптимизировать формы и параметры направляющих.

Ключевые слова: направляющие, формы, напряженно-деформированное состояние, податливость.

Для цитирования. Михайлов, М. И. Исследование влияния формы сечения направляющих оборудования на их податливость / М. И. Михайлов, Д. А. Роговенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 2 (97). – С. 5–12. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-2-5-12>

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CROSS-SECTIONAL SHAPE OF EQUIPMENT GUIDEWAYS ON THEIR COMPLIANCE

M. I. MIKHAILOV, D. A. ROGOVENKO, V. A. PROKOPOVICH

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

The authors present the results of a numerical study made by the method of the finite element of the stress-strain state of guides. The cross-sectional shapes of the guides varied. The results obtained make it possible to optimize the shapes and parameters of the guides.

Keywords: guideways, shapes, stress-strain state, compliance.

For citation. Mikhailov M. I., Rogovenko D. A. Study of the influence of the cross-sectional shape of equipment guideways on their compliance. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 2 (97), pp. 5–12 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-2-5-12>

Введение

Перемещение узлов и элементов технологического оборудования требует их высокой точности базирования и позиционирования. Кроме этого необходимо обеспечить сомоторможение узлов и демпфирование динамических нагрузок. Сомоторможение и демпфирование обеспечивают направляющие с большими площадями механических контактов отдельных сопряжений, что характерно для направляющих скольжения. Недостатком таких направляющих является относительно невысокая износостойкость. Поэтому разрабатываются направляющие с различными промежуточными средами на полимерных композиционных, воздушных или масляных основах. Достаточно часто направляющие разных типов объединяют в одну конструкцию с целью сочетать их достоинств [1–14].

В общем случае расчет направляющих является сложной задачей, которую невозможно решить, используя точные аналитические методы [2, 4–6, 8, 9, 12, 13]. Это объясняется сложностью учета граничных условий, зависящих от параметров промежуточных сред, формы и особенностей требований к топографии контактных поверхностей. Кроме того, базовые детали несущей системы обладают собственной жесткостью, и их деформация влияет на распределение давлений на гранях направляющих.

Фактически расчет направляющих является частью расчета упругих перемещений несущей системы оборудования и является нелинейной задачей. Решение подобного класса задач осуществляется моделированием несущей системы с использованием метода конечных элементов или родственных ему методов [10].

Исследования податливости направляющих производились различными методами, например, на оптически прозрачных моделях, результаты которых позволили определить качественный характер распределения деформаций и напряжений. Однако большая трудоемкость изготовления моделей и обработки полученных результатов не позволяет более широко использовать этот метод.

Целью данной работы является повышение жесткости направляющих.

Методика исследования

Исследование напряженно-деформированного состояния выполнялось методом конечных элементов в программном комплексе КОМПАС. Для этого были разработаны 3D-модели направляющих, а также произведено разделение их на конечные элементы со следующими параметрами: размер контактных элементов – 2 мм; размер и вид элементов – кубик 0,1 мм; на углах – 0,5 мм; на корпусе – 2 мм; скорость роста сетки – 1,1 (рис. 1).

Для проведения расчетов разработаны граничные условия и приложена нагрузка в виде распределенных сил по осям координат: в вертикальной плоскости на стол модели – 1000 Н распределенной по площадке 20×200 мм, сбоку на стол прикладывалась сила величиной 100 Н, распределённая по площадке 20×45 мм. В качестве материала направляющих выбрана сталь 40Х.

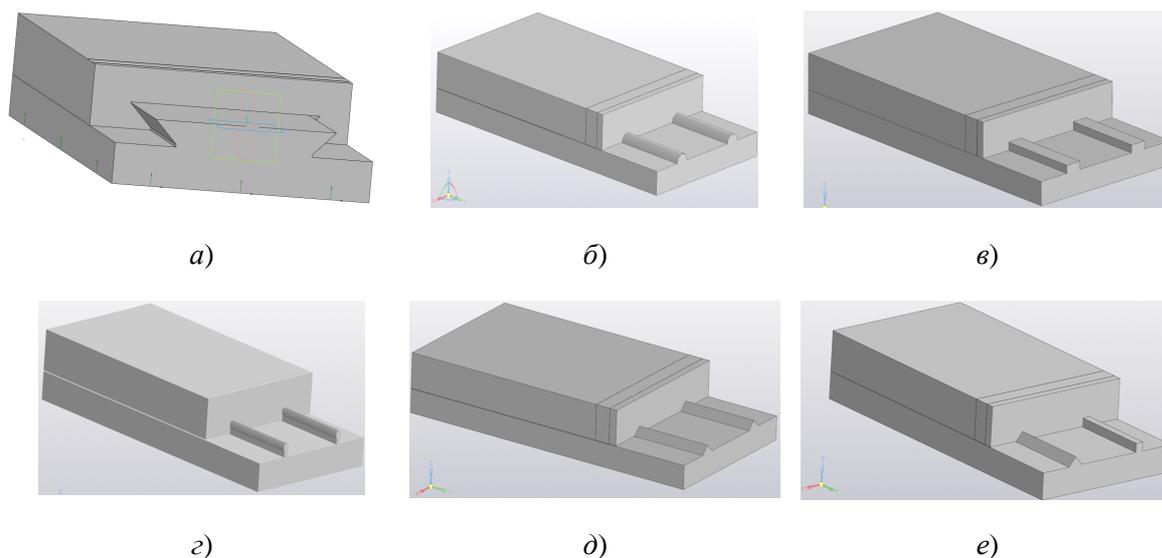
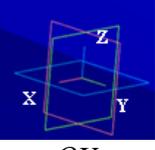
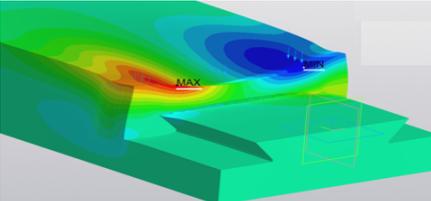
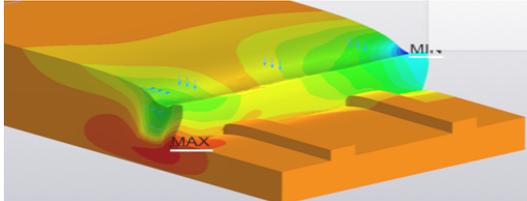
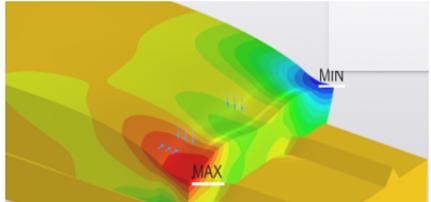
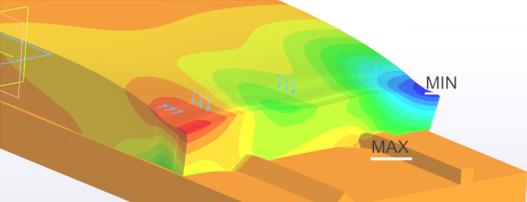
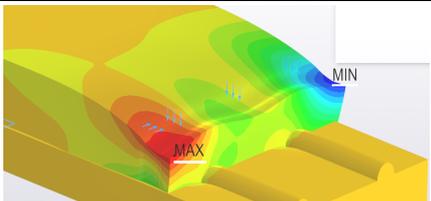
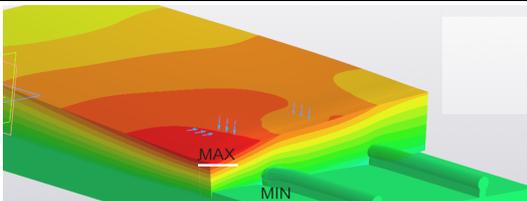


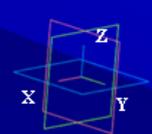
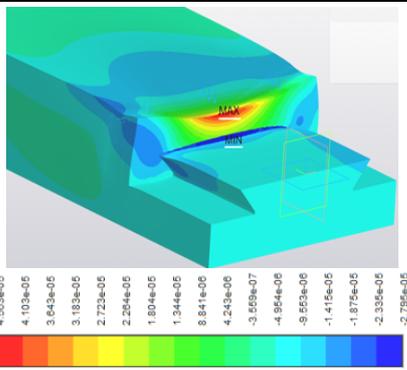
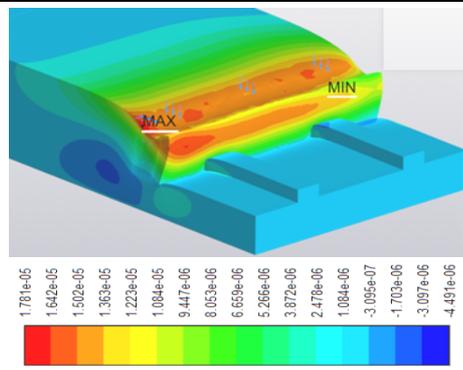
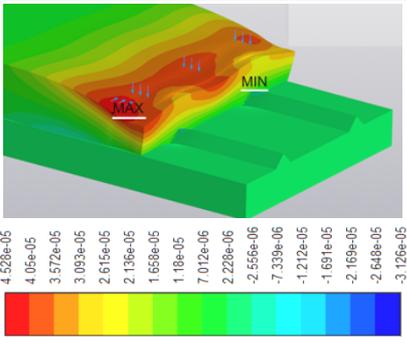
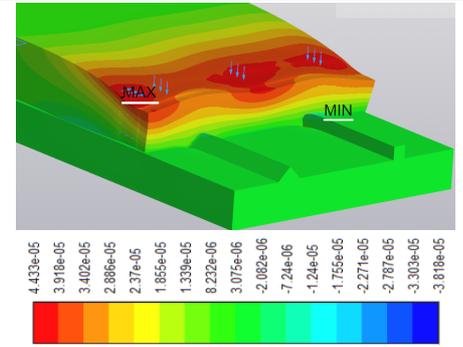
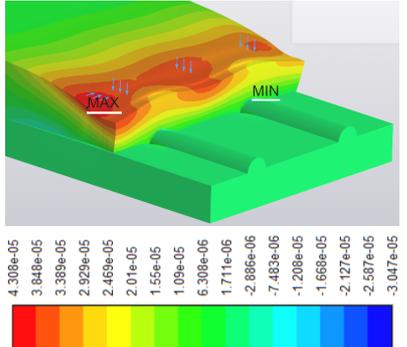
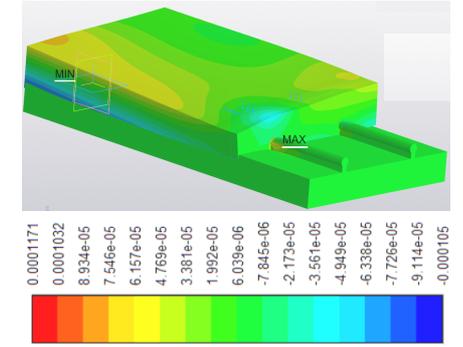
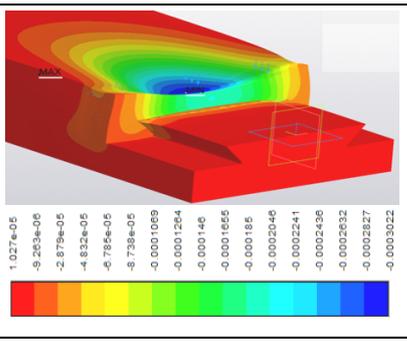
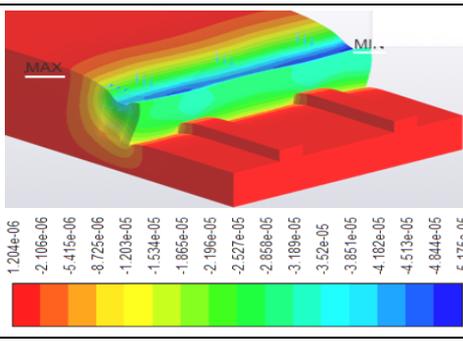
Рис. 1. 3D-модели направляющих типов:
а – «ласточкин хвост»; б – призматических; в – открытых цилиндрических;
г – закрытых цилиндрических; д – треугольных; е – комбинированных

Результаты расчетов и их анализ

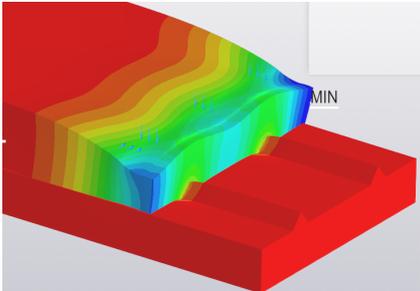
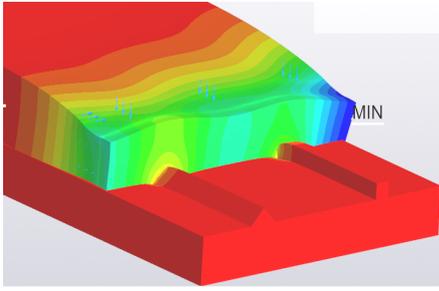
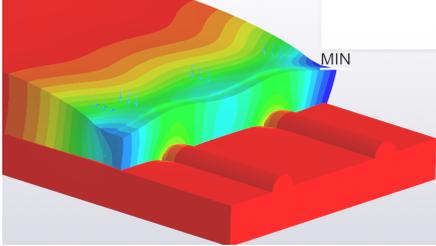
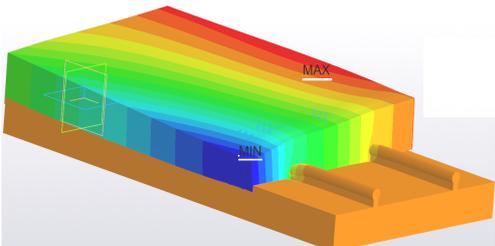
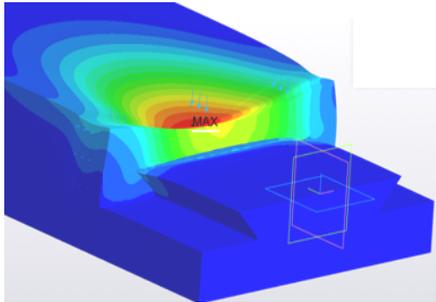
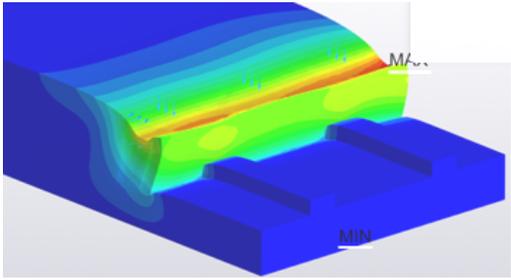
Для более детального исследования были получены картины распределения перемещений в элементах системы крепления (см. таблицу).

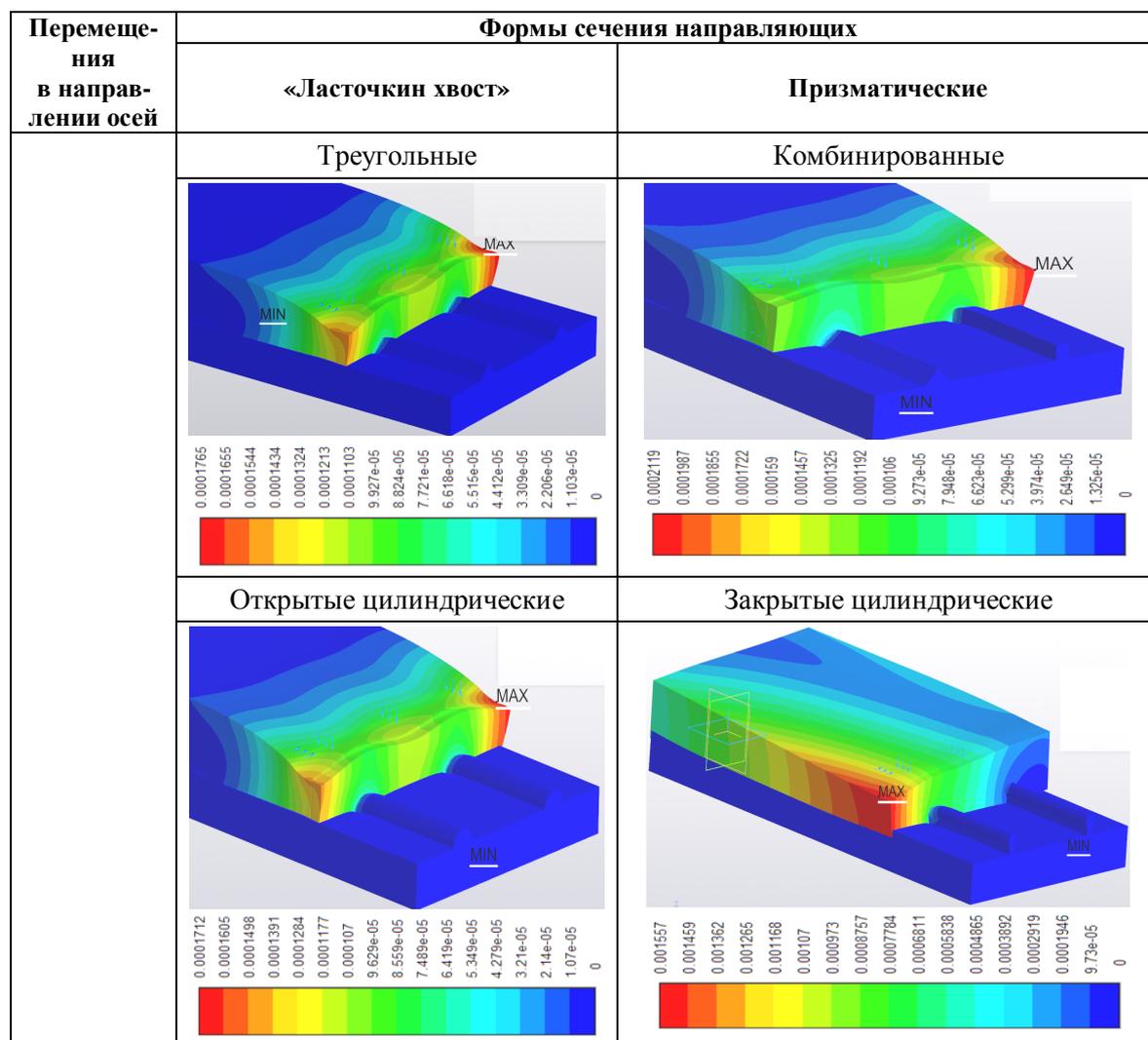
Результаты расчетов перемещений в направляющих

Перемещения в направлении осей	Формы сечения направляющих	
	«Ласточкин хвост»	Призматические
 <p>OX</p>	 <p>MAX MIN</p> <p>5.831e-05 4.965e-05 4.298e-05 3.632e-05 2.966e-05 2.299e-05 1.632e-05 9.651e-06 2.982e-06 -3.681e-06 -1.035e-05 -1.701e-05 -2.368e-05 -3.032e-05 -3.701e-05 -4.368e-05 -5.034e-05</p>	 <p>MAX MIN</p> <p>3.628e-06 2.077e-06 5.253e-07 -1.026e-06 -2.578e-06 -4.129e-06 -5.681e-06 -7.232e-06 -8.784e-06 -1.034e-05 -1.189e-05 -1.344e-05 -1.499e-05 -1.654e-05 -1.809e-05 -1.965e-05 -2.12e-05</p>
	 <p>MAX MIN</p> <p>1.632e-05 1.165e-05 6.968e-06 2.29e-06 -2.387e-06 -7.065e-06 -1.174e-05 -1.642e-05 -2.11e-05 -2.578e-05 -3.045e-05 -3.513e-05 -3.981e-05 -4.449e-05 -4.916e-05 -5.384e-05 -5.852e-05</p>	 <p>MAX MIN</p> <p>1.183e-05 6.916e-06 2.003e-06 -2.911e-06 -7.824e-06 -1.274e-05 -1.765e-05 -2.256e-05 -2.748e-05 -3.239e-05 -3.731e-05 -4.222e-05 -4.713e-05 -5.205e-05 -5.696e-05 -6.187e-05 -6.679e-05</p>
	 <p>MAX MIN</p> <p>1.635e-05 1.171e-05 7.07e-06 2.431e-06 -2.208e-06 -6.847e-06 -1.149e-05 -1.613e-05 -2.076e-05 -2.54e-05 -3.004e-05 -3.468e-05 -3.932e-05 -4.396e-05 -4.86e-05 -5.324e-05 -5.788e-05</p>	 <p>MAX MIN</p> <p>0.0003412 0.0003045 0.0002678 0.0002311 0.0001944 0.0001577 0.0001211 8.436e-05 4.766e-05 1.097e-05 -2.572e-05 -6.242e-05 -9.911e-05 -0.0001368 -0.0001725 -0.0002092 -0.0002459</p>

Перемещения в направлении осей	Формы сечения направляющих	
	«Ласточкин хвост»	Призматические
 OY	«Ласточкин хвост» 	Призматические 
	Треугольные 	Комбинированные 
	Открытые цилиндрические 	Закрытые цилиндрические 
	«Ласточкин хвост» 	Призматические 

Продолжение

Перемещения в направлении осей	Формы сечения направляющих	
	«Ласточкин хвост»	Призматические
	Треугольные	Комбинированные
	 <p>5.359e-06 -5.229e-06 -1.582e-05 -2.641e-05 -3.699e-05 -4.758e-05 -5.817e-05 -6.876e-05 -7.935e-05 -8.994e-05 -0.0001005 -0.0001111 -0.0001217 -0.0001323 -0.0001429 -0.0001535 -0.0001641</p>	 <p>7.419e-06 -5.556e-06 -1.853e-05 -3.151e-05 -4.448e-05 -5.746e-05 -7.043e-05 -8.341e-05 -9.638e-05 -0.0001094 -0.0001223 -0.0001353 -0.0001483 -0.0001613 -0.0001742 -0.0001872 -0.0002002</p>
	Открытые цилиндрические	Закрытые цилиндрические
	 <p>5.012e-06 -5.228e-06 -1.547e-05 -2.571e-05 -3.595e-05 -4.619e-05 -5.643e-05 -6.667e-05 -7.691e-05 -8.715e-05 -9.739e-05 -0.0001076 -0.0001179 -0.0001281 -0.0001384 -0.0001486 -0.0001588</p>	 <p>0.0002994 0.0001858 7.213e-05 -4.153e-05 -0.0001552 -0.0002688 -0.0003825 -0.0004962 -0.0006098 -0.0007235 -0.0008371 -0.0009508 -0.001064 -0.001178 -0.001292 -0.001405 -0.001519</p>
Суммарные	«Ласточкин хвост»	Призматические
	 <p>0.0003027 0.0002838 0.0002649 0.000246 0.000227 0.0002081 0.0001892 0.0001703 0.0001514 0.0001324 0.0001135 9.45e-05 7.568e-05 5.676e-05 3.784e-05 1.892e-05 0</p>	 <p>5.673e-05 5.318e-05 4.964e-05 4.609e-05 4.255e-05 3.9e-05 3.545e-05 3.191e-05 2.836e-05 2.482e-05 2.127e-05 1.773e-05 1.418e-05 1.064e-05 7.091e-06 3.545e-06 0</p>



Полученные результаты позволяют заключить, что переход от направляющих типа «ласточкин хвост» к направляющим соответственно призматическим, открытым цилиндрическим, закрытым цилиндрическим, треугольным или комбинированным приводит к изменению перемещения вдоль оси X в соотношении 1 : 0.295536 : 0.8836 : 6.98845 : 0.8908 : 0.71825, а вдоль оси Y в соотношении 1 : 0.303332 : 1.0004 : 3.0209 : 0.62268 : 1.122279, вдоль оси Z в соотношении 1 : 0.236014 : 0.730104 : 8.10454 : 0.755273 : 0.92535, а суммарные перемещения в соотношении 1 : 0.258 : 0.7792444 : 7.086936 : 0.803368 : 0.964497.

Заключение

Выявлены картины распределений перемещений в направляющих и установлено влияние формы сечения направляющих оборудования на их податливость, позволяющие при проектировании оборудования оптимально выбирать тип и вид направляющих.

Литература

1. Manfred, W. Werkzeugmaschinen. Konstruktion und Berechnung / W. Manfred. – Dusseldorf : VDI-Verlag GmbH, 1979. – 319 p.

2. Бушуев, В. В. Основы конструирования станков : учеб. пособие / В. В. Бушуев. – М. : Станкин, 1992. – 520 с.
3. Врагов, Ю. Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: Основы компоновки / Ю. Д. Врагов. – М. : Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Детали и механизмы металлорежущих станков : в 2 т. Т. 1: Общие основы и конструирование: направляющие и несущие системы / Д. Н. Решетов [и др.] ; под ред. Д. Н. Решетова. – М. : Машиностроение, 1972. – 664 с.
5. Михайлов, М. И. Конструирование и расчет станков : учеб. пособие / М. И. Михайлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 401 с.
6. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пособие / А. И. Кочергин. – М. : Высш. шк., 1991. – 382 с.
7. Кудинов, В. А. Динамика станка / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 360 с.
8. Левина, З. М. Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
9. Металлорежущие станки и автоматы / А. С. Проников [и др.] ; под ред. А. С. Проникова. – М. : Машиностроение, 1981. – 479 с.
10. Михайлов, М. И. Анализ статической точности и прочности координатного стола многоцелевого станка с вертикальным шпинделем / М. И. Михайлов, А. Н. Ромочков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 37–41.
11. Модзелевский, А. А. Многооперационные станки / А. А. Модзелевский, А. В. Соловьев, В. А. Лонг. – М. : Машиностроение, 1981. – 215 с.
12. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справочник-учебник : в 3 т. Т. 2: Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А. С. Проников [и др.] ; под общ. ред. А. С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана : Машиностроение, 1995. – Ч. I. – 371 с. ; Ч. II. – 320 с.
13. Пуш, В. Э. Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. – М. : Машиностроение, 1977. – 390 с.
14. Санкин, Ю. Н. Динамика несущих систем металлорежущих станков / Ю. Н. Санкин. – М. : Машиностроение, 1986. – 96 с.

Referens

1. Manfred Weck. *Werkzeugmaschinen. Konstruktion und Berechnung*. Dusseldorf, VDI-Verlag GmbH, 1979. 319 p.
2. Bushuev V. V. *Fundamentals of machine tool design*. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet “Stankin” Publ., 1992. 520 p. (in Russian).
3. Vragov Yu. D. *Analysis of machine tool layouts: Fundamentals of layout*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 208 p. (in Russian).
4. Reshetov D. N., Kaminskaya V. V., Lapidus A. S., Levina Z. M., Levit G. A., Lure B. G., Ostretsov G. V., Pratushevich R. M., Ramonis A. A., Rivin E. I., Sokolov Yu. N., Figatner A. M. *Parts and mechanisms of metal-cutting machine tools*. Ed. D. N. Reshetova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 664 p. (in Russian).
5. Mihaylov M. I. *Design and calculation of machine tools*. Gomel, Sukhoi state technical university of Gomel Publ., 2020. 401 p. (in Russian).

6. Kochergin A. I. *Design and calculation of metal-cutting machine tools and machine complexes*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 382 p. (in Russian).
7. Kudinov V. A. *Machine dynamics*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 360 p. (in Russian).
8. Levina Z. M., Reshetov D. N. *Contact stiffness of machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 264 p. (in Russian).
9. Pronikov A. S., Kamyishnyiy N. I., Volchkevich L. I., Kuznetsov M. M., Kuznetsov B. N., Starodubov V. S., Usov B. A., Chernyanskiy P. M. *Metal cutting machines and automatic machines*. Ed. A. S. Pronikova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 479 p. (in Russian).
10. Mihaylov M. I., Romochkov A. N. Analiz staticheskoy tochnosti i prochnosti koordinatnogo stola mnogotselevogo stanka s vertikalnyim shpindel'em. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2011, no. 3, pp. 37–41 (in Russian).
11. Modzelevskiy A. A., Solovev A. V., Long V. A. *Multitasking machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 215 p. (in Russian).
12. Pronikov A. S., Borisov E. I., Bushuev V. V., Dmitriev B. M., Kaminskaya V. V., Kuznetsov B. N., Mihaylov O. P., Nahapetyan E. G., Pronikova T. A., Push A. V., Rozhkov E. I., Selezneva V. V., Sosonkin V. L., Spirenkov N. P., Starodubov V. S., Utenkov V. M., Shvartsburg L. E., Sholoho B. B. *Design of machine tools and machine tool systems*. Vol. 2. Calculation and design of machine tool assemblies and components. ed. A. S. Pronikova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995. pt. I. 371 p., pt. II. 320 p. (in Russian).
13. Push V. E. *Design of metal cutting machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 390 p. (in Russian).
14. Sankin Yu. N. *Dynamics of bearing systems of machine tools*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 96 p. (in Russian).

Поступила 03.06.2024