УДК 621.836.2

Владимир Александрович Лебедев  
(Брянский государственный технический университет, доцент, к.т.н., Россия, г. Брянск, [lva170487@yandex.ru](mailto:lva170487@yandex.ru))

Vladimir А Lebedev

(Bryansk State Technical University, docent, Ph.D. of Engineering Sciences, Russia, Bryansk, [lva170487@yandex.ru](mailto:lva170487@yandex.ru))

УЧЕТ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ КАЧЕНИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

REALIZATION OF THE RIGID CHARACTERISTICS OF ROLLING RAIL GUIDES OF MACHINE EQUIPMENT

Аннотация. Рассмотрен упрощенный способ учета и регулирования жесткостных характеристик рельсовых направляющих качения станков в объемных конечно-элементных моделях.

Abstract. A simplified method of accounting and regulation of the stiffness characteristics of rolling rail guides of machine tools in volumetric finite element models is considered.

Ключевые слова: рельсовая направляющая качения, каретка, рельс, тела качения, жесткость, моделирование, конечный элемент.

Keywords: rolling rail, carriage, rail, rolling elements, stiffness, modeling, finite element.

К станочному оборудованию, как к средству производства изделий машиностроения предъявляют высокие требования, в том числе к точности воспроизведения чертежных размеров деталей. Этому способствуют точность перемещения и позиционирования ответственных подвижных элементов технологического оборудования, точность размеров и жесткость всех элементов его силовых цепей, участвующих в обработке. На общую жесткость конструкции существенно влияет жесткость стыков и особенно подвижных, к которым относятся линейные направляющие станка.

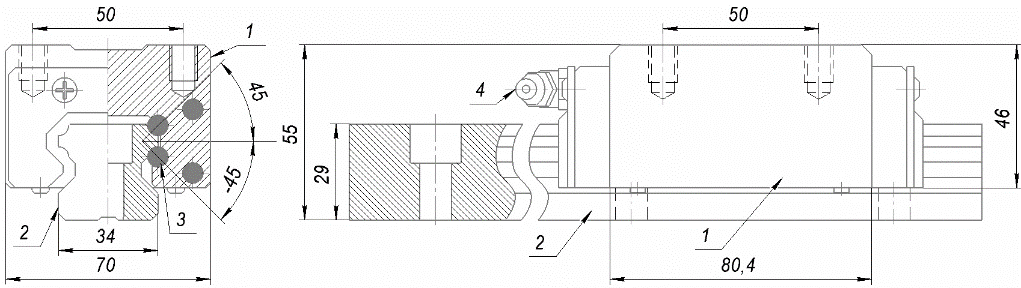
В конструкциях металлорежущих станков в основном используются линейные направляющие скольжения (гидростатические, гидродинамические, граничного, смешанного трения и др.) и качения (тела качения – шарики или ролики). Встречаются конструкции с комбинированными направляющими.

Линейные направляющие качения (рис.1) в сравнении с направляющими скольжения смешанного характера трения (как самыми распространенными) имеют меньшую грузоподъемность, меньшее демпфирование и более сложны в изготовлении, но при этом обладают очень малым коэффициентом трения качения (в пределах от 0,001 до 0,005), независящим от скорости перемещения узла (отсутствуют рывки при трогании с места), меньше интенсивность износа направляющих, они позволяют обеспечить большее ускорение и высокую точность позиционирования подвижного узла станка [1]. На жесткость рельсовой направляющей качения влияют ее форма, размеры и преднатяг, установленный между кареткой и рельсом. Предварительный натяг определяется микронами, что требует высокой точности их изготовления.

При проектировании станочного оборудования для предварительной оценки характеристик и параметров его узлов и в целом выполняют объемные адекватные поставленным задачам компьютерные модели.

В статье рассмотрен возможный упрощенный способ учета жесткости рельсовых направляющих качения при создании компьютерных конечно-элементных моделей узлов станочного оборудования.

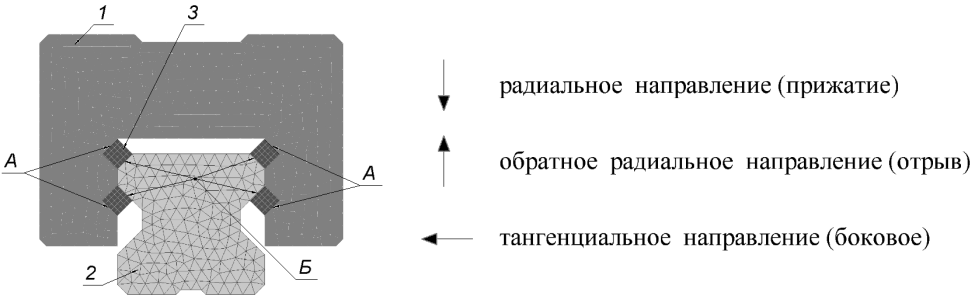
В качестве основного объекта моделирования рассматривалась рельсовая линейная направляющая качения серии HSR с каретками HSR35R нормального класса точности от компании Bosch Rexroth [2] (рис. 1). Данная каретка имеет систему циркуляции тел качения (шариков) без сепаратора. Каретка устанавливается на рельс с предварительным натягом 14 мкм. Углы наклона четырех контактных дорожек к плоскости опирания рельса 45 и -45 градусов, что уравнивает обратную радиальную (вертикальную отрывную) с тангенциальной (боковой) жесткостью направляющей – 1000 Н/мкм (рис. 2) [1]. При этом радиальная (вертикальная прижимная) жесткость немного больше (табл. 1). Максимальная статическая и динамическая грузоподъемность направляющей 61 и 37 кН соответственно.



*Рис. 1. Рельсовая направляющая качения с каретками HSR35R: 1 – каретка; 2 – рельс; 3 – шарики; 4 – смазочный ниппель*

Методом конечных элементов разработана расчетная схема рельсовой направляющей качения (рис. 2, 3), которая по своим геометрическим параметрам подобна натурному образцу. Все составные части модели выполнены объемными конечными элементами, соединенными в узлах и по поверхностям взаимодействия.

Для упрощения задачи взаимодействия тел качения с несущим корпусом каретки и рельсом, тела качения имеют форму призм с квадратными основаниями, дорожки качения – прямоугольными плоскостями, эмитирующими поверхности взаимодействия (рис. 2). Качение заменяется скольжением с возможностью задать нужный коэффициент трения.



*Рис. 2. Модель рельсовой направляющей качения: 1 – несущий корпус каретки; 2 – рельс; 3 – тела качения (шарики); А – поверхности взаимодействия тел качения с корпусом каретки; Б – поверхности взаимодействия тел качения с рельсом*

Учет жесткостных характеристик осуществлялся следующим способом. Механические характеристики конечных элементов несущего корпуса каретки и рельса схожи со сталью (*E* = 2,1×105 Н/мм2, *G* = 8,08×104 Н/мм2, µ = 0,3). Механические характеристики конечных элементов тел качения задавались отдельно для верхней пары тел (*E* = *G* = 0,25×105 Н/мм2) и для нижней (*E* = *G* = 2,1×105 Н/мм2), исходя из предварительных расчетов с последующим подбором величин. Натяг между контактирующими поверхностями (А и Б) не задавался. Взаимодействие по контактным поверхностям А (рис. 2) происходит по методу СКЛЕИВАНИЕ (жесткое сцепление поверхностей во всех направлениях). Взаимодействие по контактным поверхностям Б происходит по методу КОНТАКТ СКОЛЬЖЕНИЯ (поверхности опираются друг на друга со скольением, могут расходиться и создавать зазор). Коэффициент трения скольжения между поверхностями Б не учитывался.

Усилие прикладывалось к верхним плоскостям корпуса каретки, распределенной по площади силой 1000 Н при каждом нагружении (рис. 3). Расчеты носили статический линейный характер.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *а)* | *б)* | *в)* |

*Рис. 3. Нагружения рельсовой направляющей тангенциальной (а), радиальной (б) и обратной радиальной (в) силой (распределенной по поверхности)*

Закрепление рельса осуществлялось от вертикальных перемещений по нижним опорным поверхностям, от боковых – по нижней кромке боковой поверхности, от осевых – по торцевой поверхности. Болтовое прижатие рельса к опорной поверхности не моделировалось. В зависимости от направления нагрузки закрепление узлов несущего корпуса каретки выполнялось либо в радиальном, либо в севом направлении.

Оценка жесткостных характеристик (табл. 1) рельсовой направляющей качения осуществлялась отдельно для каждого направления нагружения на основе величин деформационных смещений верхних плоскостей корпуса каретки.

*Таблица 1. Жесткостные характеристики натурного образца и модели рельсовой направляющей качения HSR (HSR35R)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Усилие  (1000 Н) | Жесткость, Н/мкм | |
| Натурный образец | Упрощенная конечно-элементная модель |
| Тангенциальное направление | 1000 | 910 |
| Радиальное направление | 1200 | 1430 |
| Обратное радиальное направление | 1000 | 660 |

Жесткостные характеристики натурного образца и модели рельсовой направляющей качения по своим величинам близки и несколько расходятся (на 34%) в направлении обратном радиальному. Расхождение результатов объясняется расширением ветвей корпуса каретки (при стремлении оторвать ее от рельса), чему препятствует предварительный натяг натурного образца и притягивание плиты при ее монтаже. Для повышения жесткости ветвей рассмотренной конечно-элементной модели каретки можно ввести элементы усиления на уровне верхней пары тел качения внутри или снаружи корпуса.

Данный способ учета и регулирования жесткостных характеристик рельсовых направляющих качения позволяет в упрощенном виде получить адекватные модели направляющих элементов подвижных узлов станочного оборудования.

Список литературы

1. Лурье А. М. Рельсовые направляющие качения. Характеристики продукции разных производителей. Рекомендации по применению [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.servotechnica.ru/files/doc/documents/file-302.pdf>, свободный. – (дата обращения: 07.10.2021).

# 2. Технология линейных перемещений. Справочное руководство / Bosch Rexroth AG [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pksykt.ru/images/files/catalog-bosch/Bosh-Rexort10.pdf>, свободный. – (дата обращения: 02.10.2021).

Материал поступил в редколлегию 12.10.21.