

А. М. Лурье

# Рельсовые направляющие качения

Характеристики продукции разных производителей  
Рекомендации по применению



SBC Linear Co.,Ltd.



А. М. Лурье

Технический консультант:

М. Я. Кашепава

Рельсовые направляющие качения.  
Характеристики продукции разных производителей.  
Рекомендации по применению.

Настоящее исследование подготовлено при поддержке  
ОАО «Экспериментальный научно-исследовательский институт  
металлорежущих станков» и ЗАО «Сервотехника».

© «Сервотехника» ЗАО, 2006

Все права защищены. Ни одна часть этого обзора не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Исключительные авторские права на произведение «Рельсовые направляющие качения. Характеристики продукции разных производителей. Рекомендации по применению» принадлежат ЗАО «Сервотехника».

Сведения об авторах:

Александр Михайлович Лурье,  
руководитель 9 отдела ОАО «ЭНИМС»

Моисей Яковлевич Кашепава,  
кандидат технических наук, лауреат Государственной премии СССР, независимый эксперт, консультант, специалист в области станкостроения, автор классического учебника «Современные координатно-расточные станки».

ЭНИМС – Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков, был основан в 1933 году в Москве как научная база развивающегося станкостроения СССР. Институт создавался на базе Научно-исследовательского института станков и инструментов и Центрального конструкторского бюро по станкостроению как головной институт отрасли и находился в ведении министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. Экспериментальная база института – завод «Станкоконструкция». В 1993 году в результате приватизации преобразован в АО, в 1997 году преобразован и переименован в ОАО «ЭНИМС».

В настоящее время ОАО «ЭНИМС» осуществляет подготовку научных кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по трем научным специальностям:

- «Технология машиностроения»;
- «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

ОАО «ЭНИМС» является головной организацией по реализации Федеральных целевых программ: «Реформирование и развитие станкоинструментальной промышленности на период до 2005 года», «Инновационное станкостроение», «Национальная технологическая база».

Основные направления деятельности ОАО «ЭНИМС» сегодня:

- проведение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских, проектных, опытно-конструкторских, маркетинговых исследований с целью создания образцов нового наукоемкого, специального металлообрабатывающего оборудования, узлов, комплектующих, конструкционных материалов, новых технологических процессов;
- разработка стандартов;
- проведение сертификации продукции и систем качества;
- разработка, изготовление и реализация изделий промышленного и бытового назначения;
- оказание услуг в области инжиниринга; поставки, модернизация и ремонт оборудования; информационно-справочное обеспечение;
- оказание экспертных и консультационных услуг.

## Содержание

1. Краткий обзор линейных направляющих .....	7
2. Принципиальная конструкция рельсовых направляющих качения .....	11
3. Основные требования к рельсовым направляющим качения и соответствующие им технические характеристики.....	15
4. Шариковые РНК фирмы SBC .....	23
4.1. Классификация направляющих .....	23
4.2. Размеры и нагрузочная способность .....	25
4.3. Эксплуатационные характеристики направляющих .....	25
5. Сопоставление РНК фирмы SBC с аналогичными направляющими фирм, известных отечественным машиностроителям .....	33
5.1. Шариковые рельсовые направляющие фирмы Rexroth Star .....	33
5.2. Шариковые рельсовые направляющие фирмы INA.....	36
5.3. Шариковые рельсовые направляющие фирмы ТНК.....	41
Заключение .....	46
Список использованной литературы .....	50

## Рисунки

Рис. 1. V-образная и плоская роликовые направляющие стола координатно-расточного станка .....	8
Рис. 2. Шариковые направляющие стола координатно-расточного станка .....	9
Рис. 3. Роликовая опора качения: а) внешний вид; б) конструкция.....	10
Рис. 4. Принципиальная конструкция рельсовой направляющей качения .....	12
Рис. 5. Внешний вид рельсовой направляющей качения.....	14
Рис. 6. Схема действующих нагрузок .....	15
Рис. 7. Обозначения поверхностей, определяющих параметры точности РНК.....	18
Рис. 8. Схема контроля параллельности перемещений каретки базовым поверхностям рельса .....	18
Рис. 9. Зависимость упругой деформации $\delta$ от предварительного натяга.....	19
Рис. 10. Основные типы расположения дорожек качения.....	20
Рис. 11. Схема РНК с гибким сепаратором.....	22
Рис. 12. Внешний вид направляющих серий SBG-FL и FLL фирмы SBC.....	23
Рис. 13. Внешний вид направляющих серий SBG-SL и SLL фирмы SBC .....	24
Рис. 14. Внешний вид направляющих серий SBS-SL и SLL фирмы SBC.....	24
Рис. 15. Внешний вид направляющих серии SBC-FV фирмы SBC.....	24
Рис. 16. Внешний вид направляющих серии SBS-SV фирмы SBC.....	24
Рис. 17. Внешний вид направляющих серии SBM(S) фирмы SBC .....	25
Рис. 18. Обозначения размеров и параметров к таблице № 2 .....	26

Рис. 19. Допуски на параллельность перемещения верхней $\Delta C$ и боковой $\Delta D$ поверхностей каретки базовым плоскостям А и В рельса (N, H и P – классы точности) .....	28
Рис. 20. Допустимая непараллельность монтажа рельсов Р .....	29
Рис. 21. Допустимая разновысотность монтажа рельсов S1 .....	29
Рис. 22. Допустимая разновысотность S2 верхних плоскостей двух кареток, установленных на одном рельсе .....	29
Рис. 23. Эскиз осваиваемой серии SBG(S)-30...65-С с беззазорным размещением шариков на опорных дорожках .....	31
Рис. 24. Эскиз осваиваемой малошумной серии SPB с гибким сепаратором.....	31
Рис. 25. Зависимость шума от скорости перемещения каретки у осваиваемых новых серий направляющих фирмы SBC.....	32
Рис. 26. Защита РНК с помощью а) скребков; б) уплотняющих прокладок .....	32
Рис. 27. Гофрированная защита направляющих .....	33
Рис. 28. Формы контакта роликов с рельсом и кареткой .....	34
Рис. 29. Форма сечения направляющих серии KUSE фирмы INA.....	37
Рис. 30. Внешний вид РНК серии TKVD...ZHP фирмы INA.....	37
Рис. 31. Обозначение контролируемых размеров и допуски на параллельность дорожек.....	38
Рис. 32. Конструктивная схема РНК серии SSR фирмы THK .....	43
Рис. 33. Конструктивная схема РНК типа RSR-Z фирмы THK .....	45

### Таблицы

Таблица 1. Характеристики базовой нагрузки в различных направлениях (см. рис.6).....	20
Таблица 2. Габаритные и характерные размеры направляющих, их нагрузочные и весовые характеристики (выборочно) .....	27
Таблица 3. Допустимые отклонения параметров направляющих по классам точности в мкм .....	28
Таблица 4. Допускаемая непараллельность монтажа рельсов Р, мкм .....	29
Таблица 5. Допускаемая разновысотность монтажа рельсов S1, мкм .....	29
Таблица 6. Величины зазора (знак +) и преднатяга (знак –) в мкм .....	30
Таблица 7. Допускаемые отклонения размеров H и A1 (см. рис. 31).....	39

## 1. Краткий обзор линейных направляющих.

Направляющие, по которым перемещаются подвижные узлы станков, машин, механизмов, измерительных приборов, роботов и других устройств, являются одним из основных элементов конструкции, и в значительной мере определяют их возможности и технический уровень.

В настоящей статье направляющие рассматриваются, главным образом, с точки зрения их использования в станках, так как это наиболее показательный и распространенный тип применения.

Например, в металлорежущих станках применяются два основных типа направляющих:

- а) направляющие скольжения с различными режимами трения (граничного, смешанного, гидродинамического, гидростатического, аэростатического);
- б) направляющие качения с различными типами тел качения (в основном, конечно, шарики и ролики), видами кинематики (без возврата тел качения, с возвратом тел качения) и конструктивными формами, которые будут подробнее рассмотрены ниже.

В некоторых станках применяются комбинированные направляющие, у которых по одним граням используется скольжение, а по другим – качение.

**1.1.** Наиболее распространены **направляющие скольжения** со смешанным характером трения, при котором слой смазки не обеспечивает полного разделения трущихся поверхностей неподвижного и подвижного элементов направляющей, которое имеет место в гидродинамических, гидростатических и аэростатических направляющих.

Основными преимуществами направляющих скольжения со смешанным характером трения являются простота и компактность конструкции, высокая нагрузочная способность и жесткость, демпфирование, невысокая стоимость. Однако в современных условиях тип направляющих со смешанным трением имеет существенные недостатки, основными из которых являются большое трение, ограничивающее скорость перемещения узлов, большой износ направляющих, а также скачкообразность движения при трогании с места и на малых скоростях, не позволяющая осуществлять точное позиционирование узлов.

Применение накладок из полимерных материалов (наполненный фторопласт, торсайт, тефлон и др.) и специальных «антискачковых» смазок (например, серии ИНСп и И-ГН-Е) позволяет в значительной мере, но далеко не полностью, устранить указанные недостатки обычных направляющих скольжения.

Гидродинамические и гидростатические направляющие имеют небольшое трение, высокую демпфирующую способность, обеспечивают высокую плавность хода и малые усилия перемещения, практически неизнашиваемы. Однако их жесткость не столь высока, как у направляющих смешанного трения, при высоких скоростях перемещения они генерируют избыточное тепло, вызывающее нагрев смазки и всего кинематического узла, требуют сложной навесной гидроаппаратуры и, в целом, значительно дороже других типов направляющих, что ограничивает область их применения (главным образом, это особо тяжелые и уникальные станки).

Аэростатические направляющие имеют особо малое трение, обеспечивают высокую точность перемещений, обладают высокой долговечностью, однако так же имеют ограниченную нагрузочную способность и подвержены случайным отказам, что сужает область их применения (координатно-измерительные машины, станки для обработки печатных плат, алмазно-токарные станки и некоторые другие типы станков с малыми нагрузками на направляющие).

**1.2. Направляющие качения**, обладают малым трением (коэффициент трения составляет 0,003...0,005), обеспечивают высокую плавность перемещений, допускают высокие скорости и ускорения перемещений. В соответствующем исполнении (см. ниже) они обеспечивают высокую нагрузочную способность, жесткость и долговечность системы, точность установочных перемещений. Их основными недостатками являются сравнительно низкое демпфирование, повышенная чувствительность к загрязнению, а также высокая стоимость, которая во многих случаях является существенным фактором, ограничивающим их использование.

Комбинированные направляющие позволяют использовать преимущества направляющих и скольжения, и качения, в то же время они обладают и их недостатками. Часто такие направляющие на основных нагруженных гранях имеют трение скольжения, что обеспечивает хорошие показатели демпфирования колебаний, и трение качения (с преднатягом) на боковых гранях для устранения переориентации узлов при реверсах. Однако такая конструкция направляющих ограничивает скорость и ускорение перемещения узлов в высокоскоростных станках. Комбинированный тип имеет сравнительно меньшую область применения, чем первые два типа направляющих.

Направляющие качения являются основным типом направляющих в наиболее прогрессивных современных высокоскоростных станках, их конструкция (в отличие от направляющих скольжения) непрерывно совершенствуется. Новейшие исполнения таких направляющих будут подробнее рассмотрены в настоящей работе.

Направляющие качения начали применяться вместо направляющих скольжения в середине прошлого века на координатно-расточных, шлифовальных, заточных и некоторых других прецизионных станках, где требовались точные малые (с дискретностью до 0,001 мм) установочные перемещения узлов. Такие перемещения на направляющих скольжения очень трудно выполнялись или вообще были невыполнимы из-за т. н. «скачков».

Основной конструктивной формой направляющих качения на первых станках являлась комбинация (пара) V-образной и плоской направляющих. По ним перемещались ролики, размещенные в линейном сепараторе. При этом ролики опирались непосредственно на обработанные поверхности чугунных корпусных деталей. Внешний вид одной из таких направляющих приведен на рис. 1.

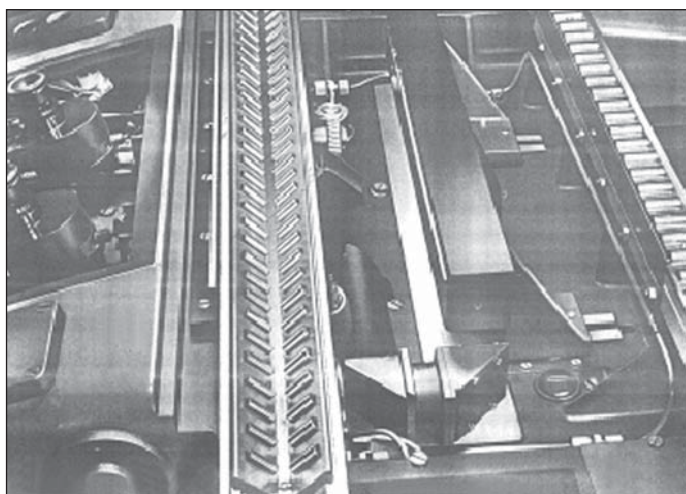


Рис. 1. V-образная и плоская роликовые направляющие стола координатно-расточного станка

При скоростях перемещений узлов в пределах 2...3 м/мин и сравнительно небольших нагрузках такие направляющие удовлетворяли требованиям, предъявляемым к таким станкам в те годы.

Наряду с роликовыми на координатно-расточных станках начали применяться и шариковые направляющие качения (станки фирмы «Кольб» [1]). Шарики в линейном сепараторе перемещались по специальным закаленным планкам, смонтированным на станине и на столе станка, как это видно, например, на рис. 2.

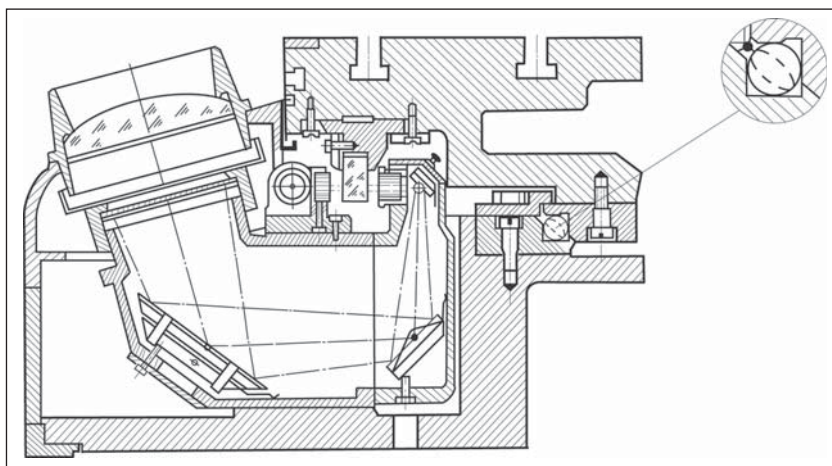


Рис. 2. Шариковые направляющие стола координатно-расточного станка

Сравнительно невысокая несущая способность первых конструкций направляющих качения, их низкая демпфирующая способность, с одной стороны, отсутствие необходимости в сверхточном позиционировании и в быстрых перемещениях узлов, с другой стороны, и, кроме того, значительно более высокая стоимость явились причинами отказа от применения направляющих качения на фрезерных, горизонтально-расточных и многих других типах станков тех лет.

**1.3.** В последние годы, в особенности с появлением станков с числовым программным управлением, возросли требования к скоростям перемещений узлов и к точности их позиционирования в сочетании с повышенными силовыми нагрузками. Расширился ряд технологических операций и типов обработки на станках всех типов. Повысились требования к производительности оборудования. Все это привело к появлению многоцелевых станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, которые к настоящему времени стали основным типом обрабатывающего станочного оборудования. Скорости линейных перемещений узлов у большинства обрабатывающих центров возросли сначала до 10...15 м/мин, затем до 20...30 м/мин, и в настоящее время у многих серийных моделей находятся на уровне 40...60 м/мин, а у отдельных станков достигают 90...100 м/мин и выше. Ускорения при разгоне-торможении узлов, ранее не превышавшие 0,1...0,5 м/с<sup>2</sup>, возросли сначала до 2...3 м/с<sup>2</sup>, а затем у ряда моделей достигли 8...10 м/с<sup>2</sup> и выше (в отдельных случаях – до 20 м/с<sup>2</sup> и более). Точность позиционирования узлов возросла до 5 мкм и выше при дискретности перемещений до 0,1 мкм, причем такая точность обеспечивается даже при высокоскоростной контурной и объемной обработке деталей со знакопеременной нагрузкой на узлы.

Высокие требования к техническому уровню станков потребовали усовершенствования традиционных и разработки новых компоновок станков (типа «box in box», «gantry» и др.). Появились новые высокдинамичные цифровые приводы с применением усовершенствованных шлифованных шариковинтовых пар и линейных моторов, новые оптоэлектронные измерительные системы и новые решения для многих других узлов и устройств станков (шпиндельных узлов, мотор-редукторов, инструментальных магазинов и устройств автоматической смены инструментов и др.).

Соответственно, непрерывно повышались требования и к направляющим станков, в значительной мере обеспечивающих скоростные, точностные, нагрузочные и другие важнейшие характеристики. Направляющие скольжения совершенствовались главным образом за счет использования нанесения покрытий из синтетических материалов (фторопласт, торсайт, тефлон), позволивших устранить «скачки» при start-стопных режимах, снизить потери на трение и значительно увеличить скорость перемещения узлов при сохранении высокой демпфирующей способности, благодаря чему на некоторых современных обрабатывающих центрах продолжают использовать такой тип направляющих. Однако у таких направляющих коэффициент трения остается существенно выше, чем у направляющих качения. Они ограничивают возможность



применения особо высоких скоростей перемещений и предварительного натяга, необходимого для обеспечения высокой жесткости и высокой точности при реверсах и знакопеременных нагрузках.

Ограниченное применение имеют и гидродинамические, гидростатические и аэростатические направляющие скольжения из-за недостатков и ограничений, о которых говорилось ранее.

Таким образом, основным типом направляющих на большинстве современных наиболее производительных высокоскоростных обрабатывающих центров являются новые типы направляющих качения.

**1.4.** Начальная конструкция направляющих качения, применявшихся на координатно-расточных, шлифовальных и других обрабатывающих станках, претерпела с течением времени ряд усовершенствований: появились накладки из закаленной стали на поверхности базовых деталей из чугуна, подпружиненные ролики на обратных планках на подвижных узлах для создания преднатяга, направляющие с линейным сепаратором уступили место направляющим качения с применением роликовых (или шариковых) блоков – линейных опор качения (так называемые «танкетки»). Внешний вид и конструкция одной из форм «танкетки» показан на рис. 3.

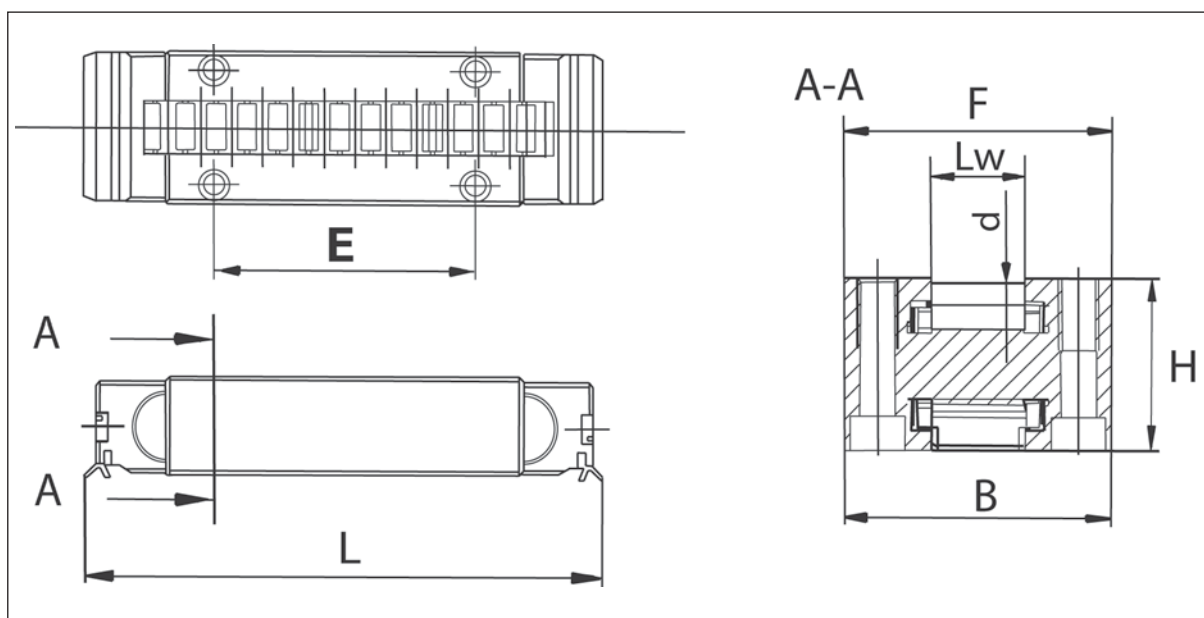


Рис. 3. Конструкция роликовой опоры качения.

Корпус «танкетки» крепится к подвижному узлу станка. Ролики опираются на рабочую дорожку корпуса и на направляющую неподвижного узла станка. «Танкетки» обычно устанавливаются по концам подвижного узла (а при необходимости – и в его средней части) и совершают возвратно-поступательное движение. Их использование позволило значительно повысить скорость перемещения узлов (до 15...25 м/мин), обеспечить за счет предварительного натяга отсутствие зазора в системе направляющих. Практика использования роликовых опор на станках Ивановского завода тяжелого станкостроения подтвердила их особо высокую нагрузочную способность (например, нагрузочная способность компактной «танкетки» модели RUS 26102 фирмы INA с габаритными размерами  $L \times B \times H = 102 \times 40 \times 26$  мм равна 95 кН). Системы роликовых направляющих обеспечивают возможность повышения скоростей быстрых перемещений узлов до 15...20 м/с с дискретностью перемещений до 0,001 мм. Однако точность станков на роликовых направляющих оказалась ограничена классом «П», и дальнейшее повышение точности станков (как и скоростей быстрых перемещений узлов) стало возможным только с применением более совершенных направляющих качения.

Дальнейшее внедрение направляющих с «танкетками» выявило серьезные технологические трудности, основными из которых были следующие. Допустимые нагрузки на одно тело качения по чугуну примерно в 30 (для шариков) и в 20 раз (для роликов), меньше чем по закаленной стали. Соответственно, для обеспечения высокой нагрузочной способности и возможности создания необходимого предварительного натяга тела качения должны перемещаться не по поверхности станины, а по стальным закаленным (HRC 58...62) поверхностям специальных накладок или планок. Направляющие планки (обычно прямоугольного сечения) для неподвижного узла должны быть точно (с допуском 10...20 мкм) обработаны по всей длине по верхним и боковым плоскостям для обеспечения точности перемещений и сохранения преднатяга на всем пути подвижного узла.

Комплект «танкеток» должен быть отрегулирован проставками или клиньями для создания нужного преднатяга и точно выставлен, так как даже незначительные перекосы могут привести к заклиниванию в системе направляющих.

Изготовление и монтаж на неподвижном узле станка (станине, стойке и др.) высокоточных шлифованных и закаленных накладок, регулировка «танкеток» связаны с большими временными затратами и требуют привлечения высококвалифицированных специалистов.

**1.5.** Дальнейшим усовершенствованием направляющих качения стало появление их нового класса – рельсовых направляющих качения. Принципиальным улучшением у таких направляющих по сравнению с описанными выше системами роликовых направляющих с «танкетками» является перемещение тел качения не непосредственно по поверхностям неподвижного узла станка, а по точно обработанным рельсам, устанавливаемым на неподвижном узле. При этом тела качения (шарики) размещены в блоке качения (каретке), которая поставляется в комплекте с рельсом и с нужным заказчику заранее выполненным предварительным натягом.

**1.6.** Рельсы (обычно два, реже – больше), устанавливаются на неподвижном узле станка, причем точной обработки требуют только две верхние плоскости блока направляющих станины. Плоскость станины, на которые монтируются рельсы, выполняется с упорным буртом (возможно исполнение и без бурта). Один рельс выставляется первым и является базовым, второй устанавливается «на параллельность» базовому или по упорному бурту, после чего закрепляется. Таким образом, устраняются основные технологические трудности, о которых говорилось выше при рассмотрении систем направляющих с использованием «танкеток». На каретки (обычно одна или две на одном рельсе, реже – больше) крепятся подвижные узлы станка.

Рельсовые направляющие качения в настоящее время являются предпочтительным типом направляющих для наиболее производительных высокоскоростных обрабатывающих центров с ЧПУ, других типов станков особо высокой точности, высокоскоростных роботизированных систем, других машин и приборов.

## **2. Принципиальная конструкция рельсовых направляющих качения.**

**2.1.** Принципиальная конструкция рельсовых направляющих качения приведена на рис. 4. Рельс (1) с двух сторон имеет продольные параллельные опорные дорожки (2) для тел качения (шарики или ролики). Форма и количество дорожек определяются типом тел качения и эксплуатационными характеристиками системы. На рельсе смонтирована подвижная каретка (3), имеющая внутренние продольные опорные поверхности (их количество и форма соответствуют опорным дорожкам рельса) и продольные каналы (4) возврата тел качения. По торцам каретки закреплены торцовые плиты, или крышки (5), обеспечивающие замкнутое перемещение тел качения с опорных дорожек каретки в каналы возврата и обратно. В каретке так же смонтированы ограничители (6), предохраняющие тела качения от выпадения при аварийном смещении каретки с рельса. Рельс и каретка имеют опорные поверхности, соответственно, (7) и (8), для установки на неподвижный и подвижный узлы станка, и монтажные отверстия (9) и (10) для их закрепления.

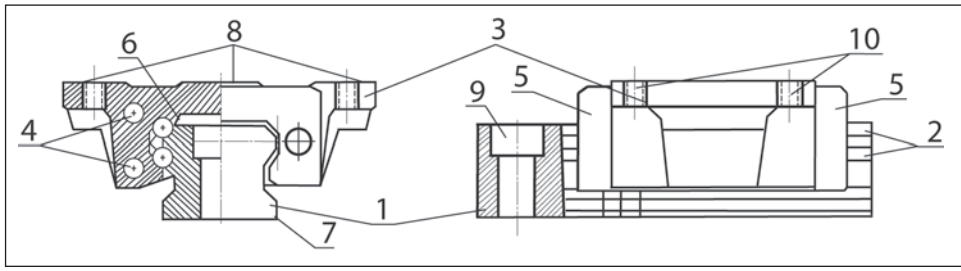


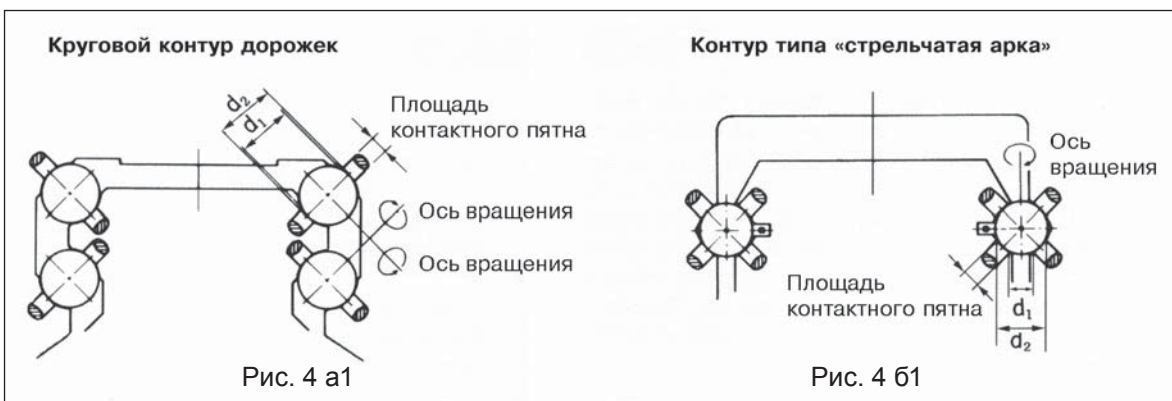
Рис. 4. Принципиальная конструкция рельсовой направляющей качения.

**2.1.1.** Наибольшее распространение в промышленности и, в первую очередь, в точном машиностроении и в станкостроении получили шариковые рельсовые направляющие качения, у которых радиус кривизны дорожек близок к радиусу шариков.

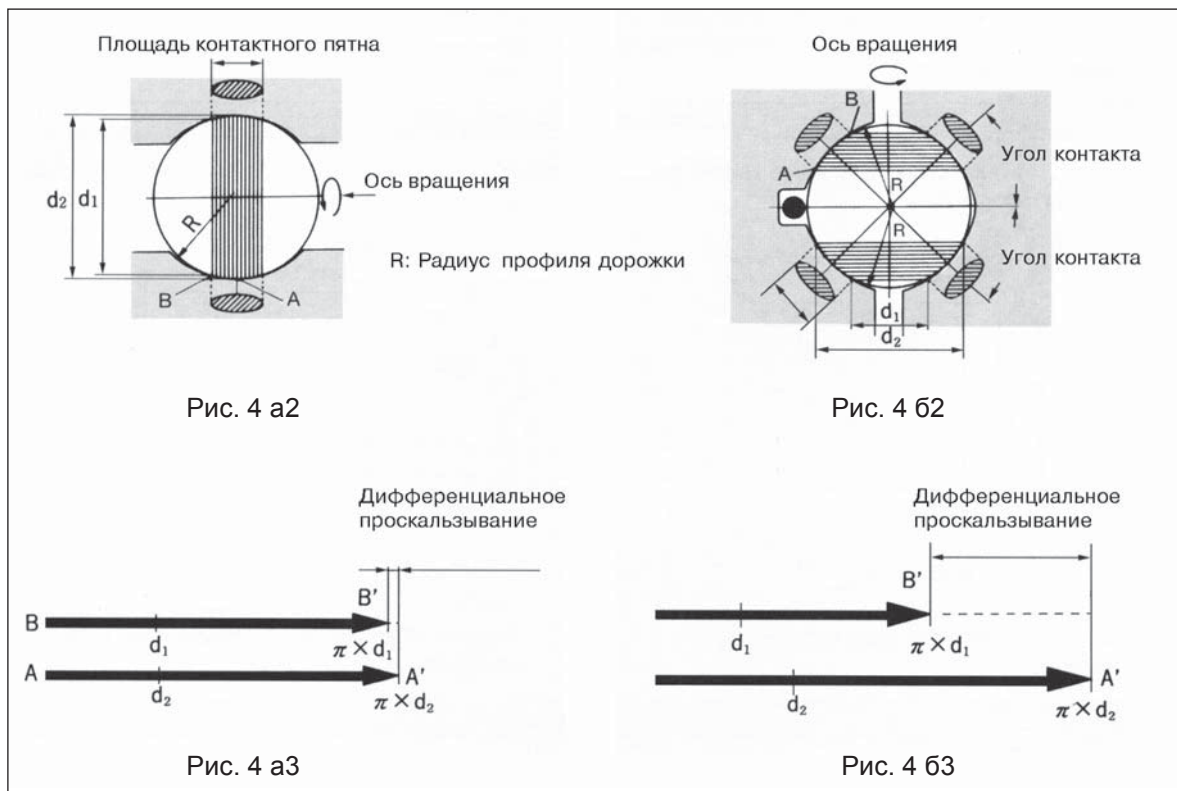
Поверхность контакта шариков при приложении нагрузки в этом случае получается не меньше поверхности контакта роликов в системе роликовых направляющих (в особенности при наличии таких погрешностей монтажа, как непараллельность, разновысотность, извернутость). В результате нагрузочная способность у соответствующих исполнений шариковых направляющих при тех же размерах может быть и выше, чем у роликовых направляющих. Так, например, японская компания ТНК, изготавливающая как шариковые, так и ограниченное количество роликовых направляющих, приводит такое сопоставление нагрузочной способности (величины  $C$  и  $C_0$  – см. ниже п. 3.1) шариковых направляющих 25-го типоразмера с удлиненной кареткой SNR25LC, имеющих  $C=57$  кН и  $C_0=101$  кН, с роликовыми направляющими того же типоразмера SRG25LC, имеющих  $C=34,2$  кН и  $C_0=75$  кН.

Кроме того, у шариковых направляющих даже при определенных монтажных погрешностях не может произойти блокировки (заедания) каретки, что часто случается у роликовых направляющих при таких же и даже меньших погрешностях из-за перекоса роликов.

**2.1.2.** У шариковых рельсовых направляющих имеются два конструктивных принципа контакта шариков с сопряженными поверхностями рельса и каретки: контакт по двум точкам (при круговом контуре дорожек, см. рис. 4 а1) и контакт по четырем точкам (при контуре дорожек типа «стрельчатая арка», см. рис. 4 б1). Круговой контур дорожек имеет преимущество по сравнению с арочным по следующим основным причинам.



**2.1.2.1.** При приложении нагрузки и при преднатяге у кругового контура, границы контактной зоны, определяемой диаметрами  $d_1$  и  $d_2$  (точки В и А на рис. 4 а2), близки к диаметру шариков. Их окружные скорости по отношению к оси вращения шарика мало отличаются друг от друга, вследствие чего дифференциальное проскальзывание поверхности шарика относительно дорожки достаточно мало. Это обеспечивает плавное и легкое движение каретки. При такой же нагрузке при готическом контуре границы контактных зон (точки В и А на рис. 4 б2) имеют большую разницу расстояний от оси вращения шарика, вследствие чего резко



увеличивается дифференциальное проскальзывание (см. рис. 4 б3), что приводит к увеличению трения, сопротивления движению каретки и уменьшению долговечности системы.

**2.1.2.2.** Из-за монтажных перекосов рельса и каретки при действии боковой нагрузки при круговом контуре положение точек контакта А и В немного смещается, что не приводит к нарушению плавности перемещения и уменьшению долговечности. При готическом контуре в этих условиях контактные зоны изменяются существенно, что приводит к увеличению трения, усилия сопротивления движению и уменьшению долговечности. Вследствие сказанного в контуре типа «стрельчатая арка» возрастают требования к точности монтажа рельса и каретки.

**2.1.2.3.** В круговом контуре при контакте шарика с дорожками рельса и каретки в двух точках под действием нагрузки шарик деформируется плавно и без существенного искажения своей формы. В контуре типа «стрельчатая арка» контакт шарика происходит в четырех точках, под действием нагрузки его форма искажается сильнее, «шарообразность» теряется. Это приводит к тому, что свободное качение затрудняется, а силы сопротивления движению каретки возрастают. Кроме того, для увеличения преднатяга в контуре типа «стрельчатая арка» требуется значительно большее усилие, чем в круговом контуре, это может существенно влиять на снижение несущей способности и долговечности направляющих.

В силу изложенных обстоятельств и некоторых других, являющихся их следствием, круговой контур контактных дорожек рельса и каретки с касанием шарика в двух точках в настоящее время получил преимущественное распространение.

Внешний вид рельса с установленной кареткой такого типа приведен на рис. 5.

Модельный ряд рельсовых направляющих качения различных производителей содержит десятки и даже сотни типоразмеров. Выбор серии и нужного типоразмера рельсовых направляющих и кареток производится по аналогии с выбором подшипников качения – на основании инженерных расчетов. При этом необходимо учитывать размеры и тип станка (машины, механизма), характер применения, особенности технологического цикла, температурный режим и другие параметры, определяющие технические требования к системам рельсовых направляющих.

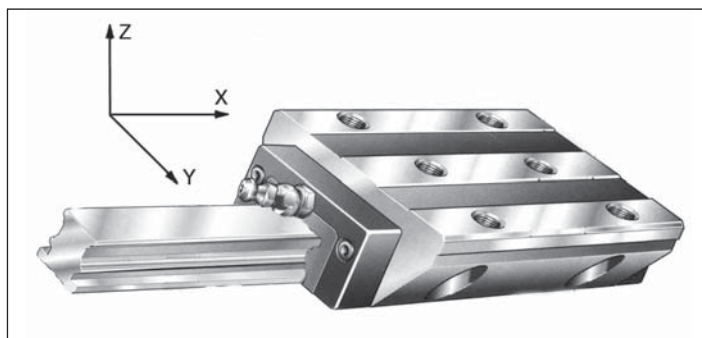


Рис. 5. Внешний вид рельсовой направляющей качения с кареткой.

**2.2.** Продукция основных компаний-производителей компонентов систем линейных перемещений и линейных направляющих в частности достаточно хорошо известна отечественным машиностроителям. Фирменные каталоги были доступны в научно-технических библиотеках, которые сегодня постепенно заменяет Интернет. Образцы продукции регулярно демонстрируются на различных выставках, таких как московские «Металлообработка» и «Машиностроение». В течение многих лет в России использовались направляющие THK, Rexroth, INA, Thomson, Schneeberger, NSK и др., например, в составе серийно выпускаемой продукции и экспериментальных моделей станков Ивановского завода тяжелого станкостроения (традиционно INA и Rexroth), Стерлитамакского станкостроительного и Савеловского машиностроительного заводов (Rexroth и THK). В Российской Федерации рельсовые направляющие качения сопоставимого качества, к сожалению, не производятся. На Липецком станкостроительном заводе в порядке эксперимента начато освоение технологии изготовления шариковых рельсовых направляющих качения (РНК) – мелкими сериями по предварительному заказу. В настоящее время завод может производить четыре модели таких направляющих (CM25TA, CM25TU, CM45TA и CM15), однако недостаточное количество типоразмеров и конструктивных исполнений, ограниченность их технических параметров (классы точности P, SP и UP не изготавливаются) пока что не позволяют им занять сколько-нибудь заметное место на российском рынке компонентов для машиностроения. Информация об этой продукции, ее характеристиках и возможностях производства, включая руководство по эксплуатации (2-29849377-РЭ) [2] имеется на значительном количестве предприятий, однако в станкостроении, в машиностроении и в промышленности вообще преимущество остается за иностранными компаниями.

В последние годы появились новые зарубежные фирмы, выпускающие линейные направляющие, в том числе и рассматриваемый нами класс РНК, и информация о продукции которых мало известна потенциальным отечественным потребителям. Поскольку достаточно полно осветить продукцию всех новых фирм в рамках одной статьи не представляется возможным, ниже в разделе 4 подробно рассматриваются рельсовые шариковые направляющие качения только фирмы SBC (SBC Linear Co., Ltd., Сеул, Южная Корея).

SBC производит цилиндрические, роликовые V-образные и шариковые рельсовые направляющие качения и каретки к ним, а так же дополнительное оборудование и компоненты. На этой элементной базе изготавливаются линейные модули и готовые системы линейных перемещений. Продукция компании SBC имеет современный технический уровень, представлена в каждой категории несколькими отдельными сериями с десятками типоразмеров для различных применений и, вследствие более приемлемой стоимости и сроков поставки, может оказаться более предпочтительной для отечественных потребителей по сравнению с продукцией других фирм, перечисленных выше.

### 3. Основные требования к рельсовым направляющим качения и отвечающие им технические характеристики.

Поскольку РНК дорожке перечисленных выше других типов направляющих, они в настоящее время применяются, в основном, в машинах высокого технического уровня. Так в сегменте металлорежущих станков РНК применяются преимущественно в обрабатывающих центрах, применительно к которым и будут сформулированы количественные показатели техтребований.

**3.1.** Направляющие должны воспринимать действующие на них нагрузки без нарушения работоспособности в течение определенного суммарного пути движения каретки, который может быть пересчитан в ресурс работоспособности по времени. Признаком нарушения работоспособности является появление усталостного нарушения (питтинга) на телах качения или дорожках рельса (каретки).

При эксплуатации станка на его подвижные части (узлы) действуют силы и моменты, которые передаются и направляющими. В общем случае на направляющие действуют:

а) вертикальные и горизонтальные силы, перпендикулярные направлению перемещения каретки (силы, действующие вдоль направления перемещения каретки, воспринимаются приводом перемещения узла или зажимными устройствами);

б) моменты, действующие вокруг трех основных координатных осей.

Схема действия нагрузок на направляющие приведена на рис. 6.

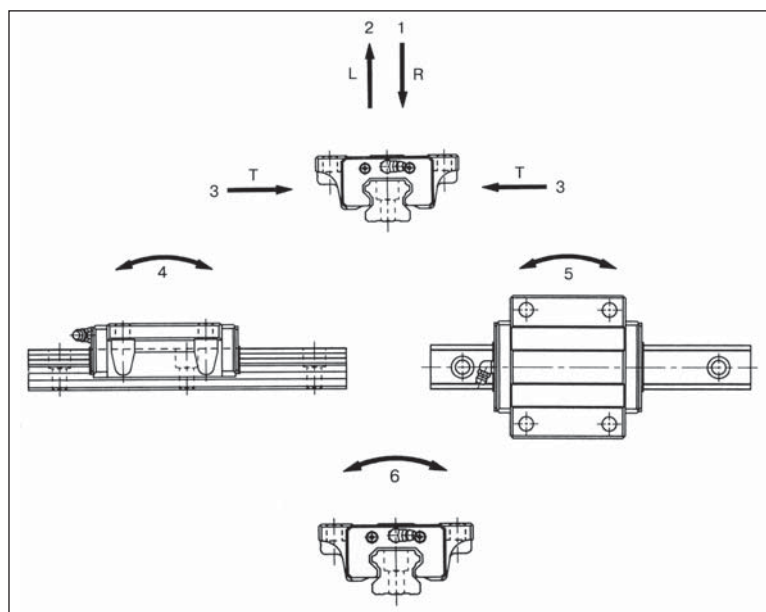


Рис. 6. Схема действующих нагрузок.

1 – радиальная; 2 – обратная радиальная; 3 – тангенциальная;  
4 – момент  $M_Y$ ; 5 - момент  $M_Z$ ; 6 – момент  $M_X$ .

Параметрами направляющих, характеризующими их способность воспринимать нагрузки, являются базовые\* статическая ( $C_0$ ) и динамическая ( $C$ ) силовые нагрузки, допустимый статический момент  $M_0$  и статический запас прочности  $f_s$ .

Базовая статическая нагрузка  $C_0$  – это нагрузка постоянной величины и направления, при которой суммарные остаточные деформации поверхностей дорожки и тела качения в месте контакта, где возникает максимальное напряжение, равны 0,0001 диаметра тела качения. Таким образом, величина  $C_0$  – это максимально возможная статическая нагрузка.

\*Термин «базовые» соответствует терминологии ГОСТ 18855 на аналогичные нагрузки подшипников качения.

Базовая динамическая нагрузка  $C$  – это нагрузка постоянной величины и направления, при которой с вероятностью 90% работоспособность шариковых направляющих сохранится после пробега не менее чем 50 км, а роликовых направляющих – не менее 100 км.

Допустимый статический момент  $M_0$  – это момент постоянной величины и направления, при котором сумма деформаций тел качения и поверхностей дорожек в местах контакта, где возникают максимальные напряжения (на телах качения по концам каретки), составляет 0,0001 диаметра тел качения.

Величины  $C$ ,  $C_0$  и  $M_0$  для каждого типоразмера направляющих и в зависимости от направления действия нагрузки приводятся в фирменных каталогах.

Поскольку при эксплуатации направляющих на них воздействуют не постоянные по величине и направлению нагрузки, и возможны толчки, удары и вибрации, производители РНК рекомендуют ограничивать предельные величины действующих нагрузок  $P$  и моментов  $M$  по сравнению с их базовыми величинами  $C_0$  и  $M_0$ ; величина ограничения характеризуется статическим запасом прочности  $f_s$ , который имеет выражение:

$$f_s = \frac{f_s \cdot C_0}{P} \quad \text{или} \quad f_s = \frac{f_s \cdot M_0}{M} \quad (1)$$

Рекомендуемые величины  $f_s$  зависят от условий эксплуатации и также приводятся в фирменных каталогах продукции. Например, для шариковых направляющих производства ТНК [3] и SBC [4] эти величины  $f_s$  лежат в пределах 1...5. Величина  $f_c$ , именуемая фактором контакта, зависит от числа кареток, которые расположены на одном рельсе и на которых смонтирован подвижный узел; при одной каретке  $f_c=1$ , при нескольких каретках величина  $f_c$  меньше единицы. Например, для шариковых направляющих ТНК и SBC при числе кареток от 2 до 5 значение  $f_c$  лежит, соответственно, в пределах 0,81...0,61.

Если действующая нагрузка  $P$  известна и известна величина  $C$  конкретного типоразмера РНК, то безотносительно к ряду конкретных факторов (см. ниже) можно определить так называемую номинальную долговечность  $L_n$  направляющей, измеряемую величиной пути движения каретки до появления питтинга.

$$L_n = (C/P)^3 \cdot 50 \text{ – для шариковых} \quad \text{и} \quad L_n = (C/P)^{10/3} \text{ – для роликовых РНК} \quad (2)$$

Конкретными факторами, влияющими на реальную долговечность, являются твердость дорожек рельса (фактор  $f_n$ ), упомянутый выше фактор контакта  $f_c$  и нагрузочный фактор  $f_w$ , учитывающий характер действующих сил (есть или нет удары, рывки, вибрации) и скоростные условия работы направляющих (скорость и ускорение движений каретки). В фирменных каталогах приводятся сведения о величинах этих факторов. Например, для шариковых направляющих ТНК и SBC величина  $f_n=1$  при твердости HRC=60, а при HRC=50 величина  $f_n=0,52$ ; пределы величин  $f_c$  были приведены ранее. Значение фактора  $f_w$  лежит в пределах от 1...1,5 (работа без ударов и вибраций при скоростях движения каретки менее 15 м/мин и ускорениях менее 5 м/с<sup>2</sup>) до 2...3,5 (при наличии ударов и вибраций, скоростях выше 60 м/мин и ускорениях 10...20 м/с<sup>2</sup>). Поскольку станки работают обычно при температуре ниже 100°С, температурные условия работы на долговечность направляющих не влияют.

С учетом сказанного реальная долговечность  $L_n$  определяется формулами:

$$L_h = \left( \frac{f_h \cdot f_c \cdot C}{f_w \cdot P} \right)^3 \cdot 50 \text{ — для шариковых РНК}$$

и

(3)

$$L_h = \left( \frac{f_h \cdot f_c \cdot C}{f_w \cdot P} \right)^{10/3} \cdot 100 \text{ — для роликовых РНК}$$

На реальную долговечность РНК влияют также способ их защиты от загрязнений и качество смазки. При использовании рекомендуемых фирмой-изготовителем (в зависимости от типа РНК и условий эксплуатации) способов защиты направляющих, смазочных материалов и методов смазки расчет дополнительных факторов влияния на долговечность не предусматривается.

При эксплуатации РНК в составе станков нагрузка  $P$  регулярно изменяется по величине и направлению, в связи с чем при расчете реальной долговечности следует использовать эквивалентную динамическую нагрузку  $P_s$ , методы вычисления которой приводятся в каталогах компаний-изготовителей. Долговечность РНК в часах эксплуатации  $L_h$  вычисляется по формуле:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot L_s \cdot n_1 \cdot 60} \text{ часов}$$

где  $L_s$  – усредненная длина хода каретки (м),  
 $n_1$  – усредненное количество двойных ходов (мин<sup>-1</sup>),  
 $L$  – долговечность (км)

**3.2.** РНК является промежуточным элементом между неподвижной частью (к ней обычно и крепится рельс) и подвижной частью (обычно крепится на каретке) станка. Узел станка при этом опирается на две или более РНК. Обеспечение с необходимой точностью прямолинейности и постоянства углового положения подвижной части станка (далее узла станка) – важная функция РНК.

Прямолинейность перемещения узла станка обеспечивает геометрическую точность (плоскостность, прямолинейность осей отверстий и т. п.) обрабатываемой детали. Постоянство углового положения обеспечивает точность взаимного положения обрабатываемых поверхностей (например, параллельность осей отверстий) и точность позиционирования во всем рабочем объеме станка (регулярно «уплывающую» из-за действия принципа Аббе).

Для обеспечения требуемых характеристик, определяющих в конечном итоге класс станка, точность должны иметь обе (или более) РНК, точно должны быть обработаны поверхности станка, на которые монтируются РНК и точно должен быть произведен монтаж РНК (их взаимное расположение). Точность собственно РНК характеризуется следующими параметрами (см. рис. 7):

**3.2.1.** Допуском на высоту  $H$  и разность высот  $\Delta H$  в комплекте кареток, смонтированных на одном рельсе.

**3.2.2.** Допуском на размер  $W2$  и разность этого размера  $\Delta W$  в комплекте кареток, смонтированных на одном рельсе.

**3.2.3.** Допуском  $\Delta C$  на параллельность плоскости  $A$  рельса траектории перемещения поверхности  $C$  каретки на всей длине ее хода.



Допуском  $\Delta D$  на параллельность плоскости В рельса траектории перемещения поверхности D каретки на всей длине ее хода.

Величины допусков определяются классом точности РНК и указываются в каталогах фирм-изготовителей для каждого типоразмера направляющих.

Контроль параллельности перемещений поверхностей С и D производится по схеме, приведенной на рис. 8.

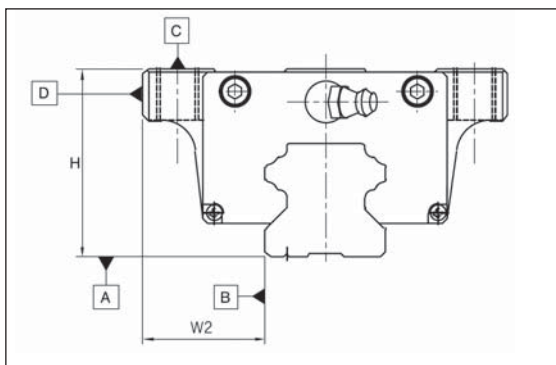


Рис. 7. Обозначения поверхностей, определяющих параметры точности РНК.

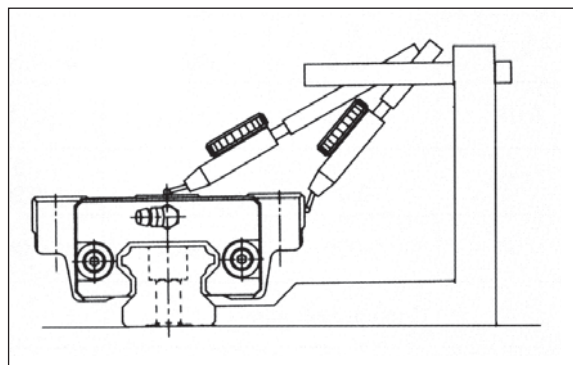


Рис. 8. Схема контроля параллельности базовым поверхностям рельса траектории перемещений каретки.

**3.2.4.** Контроль прямолинейности перемещения каретки в вертикальной и горизонтальной плоскостях может производиться либо стрелочным измерительным прибором по эталонной линейке, установленной параллельно рельсу, либо с использованием автоколлиматора; методика этих измерений изложена, например, в п.п. 3.2.1. и 3.2.10. ГОСТ 22267-76. При использовании автоколлиматора измеряется постоянство углового положения каретки в двух плоскостях (вертикальной и горизонтальной) при ее перемещениях по рельсу. Фирмы, изготавливающие РНК, не рекомендуют производить проверку прямолинейности перемещения каретки и постоянства ее углового положения на одной автономно взятой РНК и не регламентируют допусками\* погрешности этих перемещений, поскольку точность перемещений подвижного узла станка определяется как минимум двумя РНК и зависит от точности их монтажа; фирмы рекомендуют производить проверки по п. 3.2.4. в процессе монтажа направляющих.

**3.2.5.** Для нормальной работы РНК поверхности для их монтажа на неподвижной и подвижной части станка должны быть обработаны с надлежащей точностью. В каталогах фирм-изготовителей РНК обычно указываются допустимые погрешности монтажных поверхностей по ровности (отклонению этих поверхностей в одной плоскости от нормали) для двух рельсов и четырех кареток (или большего их количества). Указываются также допустимые отклонения рельсов по параллельности, подробно рассматриваются различные возможные методы обеспечения правильного взаимного расположения рельсов и кареток при их монтаже. Допустимые монтажные погрешности зависят от типоразмера РНК, расстояния между рельсами и величины предварительного натяга в направляющей.

Характерной особенностью шариковых РНК с круговой формой сечения дорожек качения является значительная компенсационная способность, позволяющая уменьшить влияние погрешностей изготовления направляющих и их монтажа на точность и плавность перемещения подвижной части станка, благодаря чему точность перемещения подвижной части станка с использованием РНК при прочих равных условиях значительно повышается по сравнению с направляющими скольжения.

\*Поскольку эти допуски отдельно не оговорены, следует понимать, что указанные в п.п. 3.2.3. и 3.2.4. допуски включают и возможные погрешности прямолинейности перемещений каретки.

**3.3.** Высокая жесткость станка необходима для устойчивости процессов (например, резания) и обеспечения высокой точности обработки. Жесткость станка в значительной мере определяется жесткостью подвижных стыков в его узлах, в число которых входят направляющие линейных перемещений узлов. Жесткость в системе РНК определяется размерами, конструктивной формой и величиной предварительного натяга между рельсом и кареткой.

Требуемые величины жесткости РНК определяются типом станка, его размерами, условиями эксплуатации, точностью и другими параметрами, и являются одним из важнейших критериев при выборе типоразмера и варианта исполнения РНК. Жесткость конкретной РНК зависит от величины предварительного натяга, который обеспечивается при изготовлении направляющей и, как правило, может иметь несколько значений. С возрастанием преднатяга жесткость системы (направляющая и каретка) возрастает сначала интенсивно, а затем замедляется, что иллюстрируется примером, приведенным на рис. 9 (на этом рисунке по оси ординат отложена упругая деформация, т. е. при преднатяге, например, 14 мкм, жесткость будет 2450 Н/2,5 мкм, т.е.  $\approx 1000$  Н/мкм).

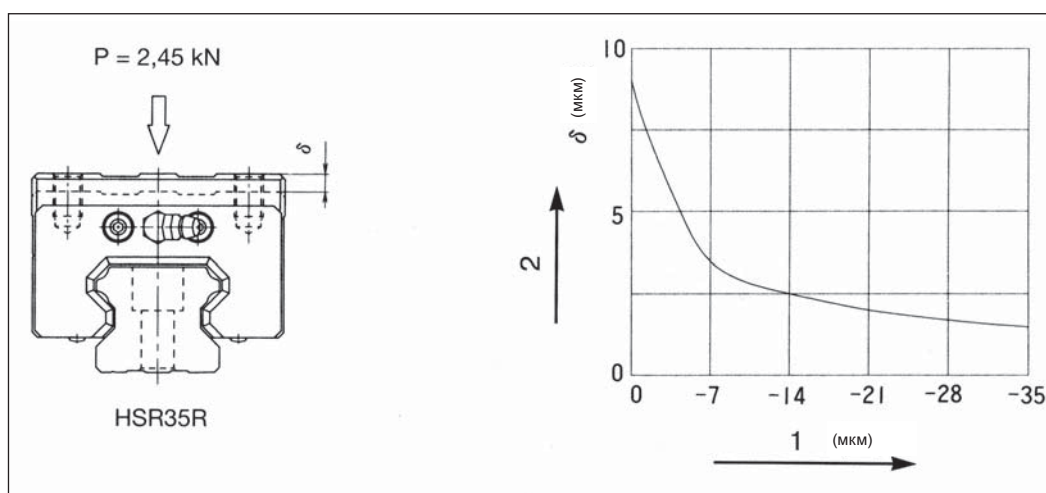


Рис. 9. Зависимость упругой деформации  $\delta$  от предварительного натяга.  
1 – предварительный натяг; 2 – упругая деформация.

Минимальный натяг должен обеспечить отсутствие зазора по всей длине каретки при действии расчетной внешней нагрузки, в том числе знакопеременной, а максимальный натяг лимитируется прочностью поверхностных слоев, определяется характером действующих нагрузок (наличие ударов, вибраций), ограничивается возрастанием эквивалентной нагрузки и снижением срока службы направляющих.

В зависимости от формы поперечного сечения и расположения дорожек качения РНК жесткость и базовые силовые нагрузки (см. п. 3.1) в различных направлениях приложения нагрузки могут либо быть практически одинаковыми, либо изменяться в значительных пределах. У большинства шариковых РНК имеются два основных типа\* расположения дорожек качения, изображены на рис. 10. Расположение дорожек по рис. 10 б обеспечивает практически равные жесткости и базовые силовые нагрузки в обратном радиальном и тангенциальном направлениях (см. рис.6) и лишь немного отличающиеся от радиального направления. При расположении дорожек по рис. 10 а разница в этих величинах очень большая, что видно из таблицы 1 (дополнением к рис. 10 б может являться рис. 29).

\*Под термином «тип» здесь понимается величина угла контакта ( $45^\circ$  или  $90^\circ$ ) шариков с дорожками рельса и каретки. Место расположения дорожек и их конструктивное исполнение могут различаться у разных производителей РНК.

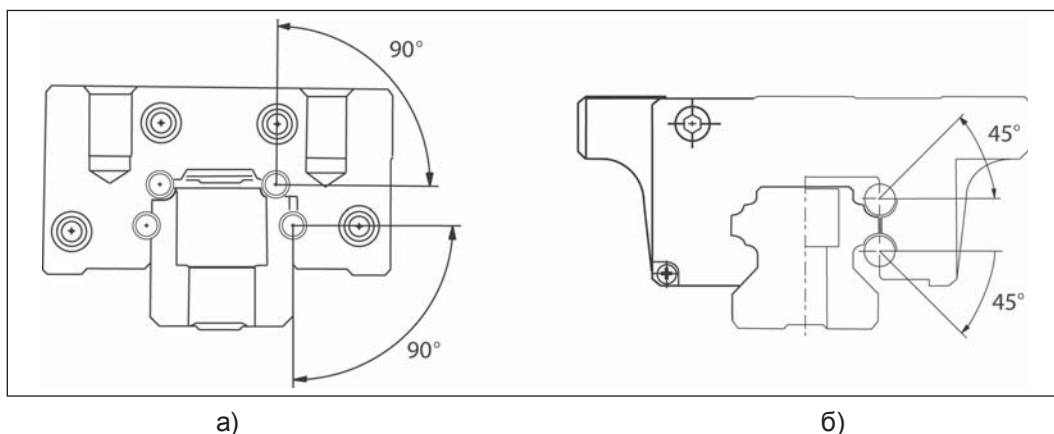


Рис. 10. Основные типы расположения дорожек качения на рельсе.

Характеристики базовой нагрузки в различных направлениях (см. рис. 6)

Таблица 1

Направляющие	Расположение дорожек качения по рис. 10 а		Расположение дорожек качения по рис. 10 б	
	Базовая динамическая нагрузка	Базовая статическая нагрузка	Базовая динамическая нагрузка	Базовая статическая нагрузка
Радиальное направление R	C	C <sub>0</sub>	C	C <sub>0</sub>
Обратное радиальное направление L	C <sub>L</sub> = 0,64 C	C <sub>OL</sub> = 0,64 C <sub>0</sub>	C <sub>L</sub> = 0,84 C	C <sub>OL</sub> = 0,84 C <sub>0</sub>
Тангенциальное направление T	C <sub>T</sub> = 0,47 C	C <sub>OT</sub> = 0,38 C <sub>0</sub>	C <sub>T</sub> = 0,84 C	C <sub>OT</sub> = 0,84 C <sub>0</sub>

Помимо влияния на жесткость преднатяг обеспечивает отсутствие угловой переориентации подвижной части станка при реверсе направления ее перемещения или при реверсе направления действия сил резания, что необходимо для обеспечения высокой точности контурной и объемной обработки деталей.

Следует отметить, что благодаря тому, что радиус кривизны дорожек качения очень близок к радиусу шариков, поверхность контакта шариковых РНК при приложении нагрузки не меньше контактной поверхности у рельсовых направляющих роликового типа; вследствие этого нагрузочная способность и жесткость шариковых РНК (в исполнениях повышенной жесткости, например, типов SNR и SNS фирмы THK) не ниже, а иногда даже несколько выше, чем роликовых РНК. Следует также отметить большую безотказность при эксплуатации шариковых РНК по сравнению с роликовыми из-за возможного перекоса роликов у последних.

Величина преднатяга конкретных серий и типоразмеров РНК указывается в каталогах фирм-изготовителей либо в абсолютной форме (в микрометрах), либо в форме указания силы преднатяга (обычно в долях от базовой динамической нагрузки C), а величина жесткости – в форме зависимостей упругой деформации между рельсом и кареткой от нагрузки в различных направлениях ее приложения (вниз, вверх, сбоку).

**3.4.** РНК должны обеспечивать возможность высоких скоростей перемещения узлов станка с высокими ускорениями наряду с возможностью выполнения безкачковых субмикронных перемещений.

Как было уже сказано в п. 3.1 в современных высокоскоростных обрабатывающих центрах скорости быстрых перемещений узлов находятся на уровне 40–60 м/мин и выше при ускорениях

8–10 м/с<sup>2</sup> и выше, причем такие скорости и ускорения сочетаются с требованиями по точности позиционирования узлов в несколько микрометров при дискретности перемещений в один микрометр и менее (до 0,1 мкм). Удовлетворить комплект таких требований при высоких силовых нагрузках на подвижные узлы могут только современные направляющие качения. Поскольку РНК и предназначены для использования на таких станках, указанные требования полностью относятся к этому типу направляющих.

Направляющие качения характеризуются малыми потерями на трение. Так, например, по данным фирм THK и SBC, у всех основных серий шариковых РНК коэффициент трения  $\mu$  лежит в пределах 0,002...0,003 и не зависит от скорости перемещения каретки. В связи с этим перемещения каретки производятся с небольшими усилиями  $F$  в соответствии с формулой:

$$F = \mu P + q$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;

$P$  – нагрузка на каретку;

$q$  – сопротивление защитных устройств (скребков, уплотнений, прокладок), зависит от их конструкции и обычно указывается фирмами-изготовителями в соответствующих каталогах направляющих.

Поскольку каретка сопрягается с рельсом без зазора, у таких направляющих с возрастанием скорости перемещения не наблюдается характерного для большинства направляющих скольжения всплывания подвижного узла станка. Соответственно, со стороны направляющих практически нет ограничений по скорости и ускорению перемещения подвижных узлов. Так, например, у станка модели Genius 500 фирмы Gross Hülleer скорость быстрых перемещений узлов достигает 180 м/мин; у станка модели Vision фирмы Chiron ускорения достигают 30 м/с<sup>2</sup>. Ограничения по скорости все же имеются, но не из-за возможностей самих элементов качения, а из-за вспомогательных элементов РНК. Например, параметры скорости перемещения для направляющих Rexroth Star ограничены 5 м/с (т.е. 300 м/мин), а ускорения – 250 м/с<sup>2</sup> (запредельной для металлорежущих станков) только из-за опасности резкого повышения износа вспомогательных деталей из синтетических материалов и выхода из строя системы смазки.

Одной из основных причин появления скачкообразности перемещений для обычных (смешанного трения) направляющих скольжения является падающая характеристика сил трения при малых скоростях движения и при трогании с места. У направляющих качения характеристика трения практически не зависит от скорости; при использовании РНК отсутствуют скачки при трогании узла с места и при малых скоростях перемещения, возможны перемещения с субмикронной дискретностью, что и отмечается фирмами-изготовителями таких направляющих (см., например, каталог [3]).

Благодаря использованию РНК на большинстве новых моделей обрабатывающих центров отечественных и зарубежных фирм дискретность перемещений составляет 0,1 мкм и менее.

**3.5.** РНК не должны ограничивать возможности высокопроизводительного резания, даже несмотря на сравнительно невысокую демпфирующую способность.

В п. 1.2 уже отмечалось, что одним из недостатков направляющих качения (по сравнению с направляющими скольжения) является их относительно невысокая демпфирующая способность, которая является следствием малого рассеивания энергии качения шариков (роликов) из-за небольших потерь на трение. Мерой демпфирования является логарифмический декремент затухания колебаний

$$\delta = L_n \frac{A_1}{A_2}, \quad \text{где } A_1 \text{ и } A_2 \text{ – амплитуды двух колебаний, следующих друг за другом в одну и ту же сторону.}$$

Определить величину  $\delta$ , порождаемую направляющими в динамической системе станка в процессе резания, очень трудно, в связи с чем ни в одном известном нам источнике величины  $\delta$  ни для одного из типов направляющих не приводятся. Известно, что при увеличении жесткости направляющих качения их демпфирующая способность увеличивается, и практика использования РНК на современных обрабатывающих центрах свидетельствует, что при предварительном натяге величиной порядка 0,08...0,1 С (С – базовая динамическая нагрузка) и применении рекомендуемых фирмами уплотнений и смазок такие направляющие позволяют эффективно осуществлять процесс резания с использованием главного привода такой же мощности, что и на станках аналогичного размера и технологического назначения с направляющими скольжения (для станков с шириной стола 800...1200 мм это мощность порядка 30...40 кВт).

**3.6.** Действующее законодательство в области охраны труда предъявляет серьезные требования по защите обслуживающего персонала от вредных для здоровья факторов и созданию комфортных для работы условий. Допустимые величины шумов при эксплуатации станков жестко лимитируются. Поскольку одной из составляющих суммарного шума станка является шум от работы направляющих, особенно при упомянутых выше (см. п. 3.4) высоких скоростях перемещения узлов, производители РНК предпринимают меры по снижению шума от движения тел качения при высоких скоростях перемещения.

Основными источниками шума при работе РНК являются металлический звук от соприкосновения тел качения друг с другом и с кареткой в момент перехода из канала возврата. Так, например, при скорости движения каретки 120 м/мин у направляющей типоразмера HSR 45LR фирмы ТНК уровень шума превышает 70 дБ [3], что существенно повышает общий уровень шума работы станка. Для снижения шума от работы направляющих в их конструкцию вводят, например, гибкий сепаратор, устройство которого изображено на рис. 11 и 24. Сепаратор исключает контакт непосредственно между шариками, что не только значительно снижает шум, но и предотвращает трение между шариками. Улучшаются условия смазки и снижается выделение тепла и износ тел качения. Уменьшение трения между шариками даже позволяет повысить базовую динамическую нагрузку С (у некоторых типоразмеров шариковых РНК – до 40% [3]).

Для дополнительного снижения шума поверхности каналов возврата могут покрываться специальным полимерным материалом, который заглушает звук, возникающий при контакте шариков с кареткой.

В результате таких конструктивных изменений, например, у направляющих фирмы ТНК типоразмера SNS 45LR (сопоставимого с HSR 45LR размера) уровень шума на скорости 120 м/мин снижен с 72 дБ до 62 дБ [3].

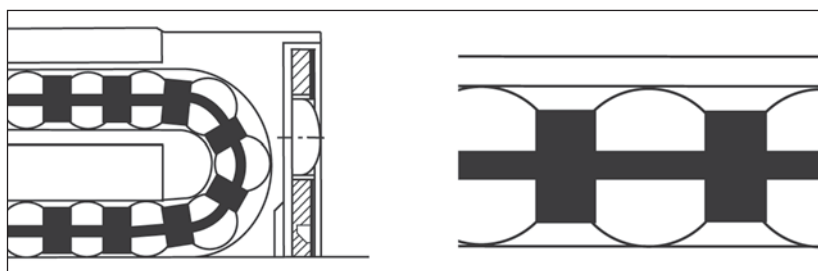


Рис. 11. Схема РНК с гибким сепаратором.

**3.7.** В условиях рынка и непрекращающейся конкуренции требования к безотказности работы и сохранению первоначальной точности станков непрерывно возрастают, что выражается, в частности, в увеличении многими фирмами гарантийного срока эксплуатации станков с 1 года до 3-5 лет. Безотказность работы шариковых РНК в течение расчетного (см. п. 3.1) срока эксплуатации в основном обеспечивается средствами их защиты от механических повреждений и засорения, а длительность сохранения первоначальной точности – качеством изготовления и предохранением от износа.

Качество своей продукции большинство фирм подтверждают сертификацией отдельных серий (на соответствие таким параметрам качества как точность, износостойчивость, малошумность и др., декларируемым в каталогах продукции, Технических условиях, другой документации) или производства в целом (ISO:9001 и т. п.).

Средства защиты от механических повреждений для РНК в основном такие же, как и для направляющих скольжения (телескопические щитки, козырьки, ленты) и в широком ассортименте поставляются специализированными фирмами.

Средства защиты от загрязнений (скребки, уплотнения, гофрированные меха и др.) разрабатываются применительно к каждому типоразмеру РНК, имеют несколько исполнений для различных условий эксплуатации направляющих и поставляются совместно с ними по выбору заказчика. Номенклатура средств защиты от загрязнений широко представлена в каталогах РНК [2], [3], [4] всех фирм-изготовителей с рекомендациями по их монтажу и рекомендуемым областям применения. Для всех типов направляющих качения, включая РНК, средства защиты являются важнейшим фактором обеспечения безотказности работы.

Предохранение от износа обеспечивается не только средствами защиты от загрязнения, но и выбором материалов, физико-химической обработкой всех элементов РНК, износостойкими покрытиями, комплексом мер, связанных с обеспечением смазки и охлаждения (выбором смазки, конструкцией и расположением смазочных устройств, составом смазочных материалов, объемом и временным режимом смазки). Рекомендации по методам и средствам предохранения от износа подробно излагаются в каталогах и другой технической документации по РНК. Выполнение требований производителя обеспечит безотказность работы и длительность сохранения первоначальной точности направляющих в соответствии с расчетными сроками эксплуатации.

#### 4. Шариковые РНК компании SBC.

По изложенным в п. 2. соображениям далее мы рассмотрим шариковые направляющие южнокорейской компании SBC. На рынке РНК компания присутствует сравнительно недавно. Номенклатура выпускаемых направляющих не очень большая, в основном, ограничена наиболее употребительными типоразмерами, что, впрочем, отвечает запросам многих потребителей. Компания осваивает производство и новых видов продукции. Краткая информация об основных сериях продукции SBC в рассматриваемом нами классе направляющих приводится ниже.

##### 4.1. Классификация направляющих.

SBC производит 9 серий РНК (SBG-FL, SBG-SL, SBG-FLL, SBG-SLL, SBS-SL, SBS-SLL, SBS-FV, SBS-SV и SBM (S) – миниатюрные).

Внешний вид направляющих с каретками серии SBG-FL (SBG-FLL) приведен на рис. 12. Буква F в артикульном номере означает наличие на каретке фланца, буквы LL – увеличенную длину и нагрузочную способность каретки.

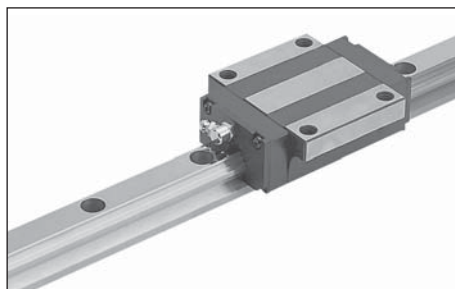


Рис. 12. Внешний вид направляющих SBG-FL и SBG-FLL производства SBC.

Внешний вид направляющих с каретками серии SBG-SL (SBG-SLL) приведен на рис. 13. Буква S перед L (или LL) означает комплектацию системы кареткой стандартной ширины без фланца.

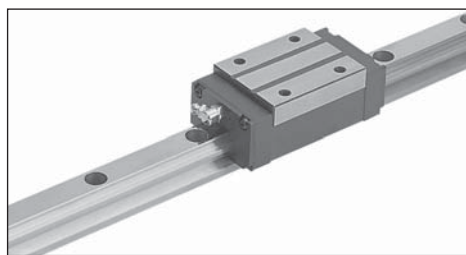


Рис. 13. Внешний вид направляющих SBG-SL и SBG-SLL производства SBC.

Внешний вид направляющих с каретками серии SBS-SL (SBS-SLL) приведен на рис. 14. Индекс «компакт», означает, что РНК комплектуется кареткой уменьшенной высоты (без фланца).

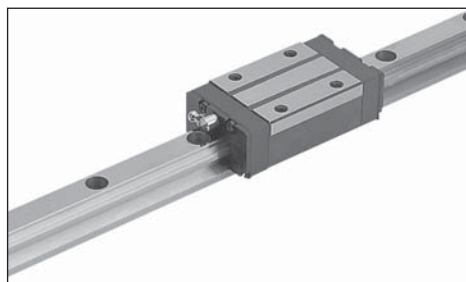


Рис. 14. Внешний вид направляющих SBS-SL и SBS-SLL производства SBC.

Серии CBS-FV (рис. 15) и SBS-SV (рис. 16) с индексом «сверхкомпактные» имеют уменьшенную высоту и длину каретки (FV – с фланцем, SV – без фланца). Все перечисленные 8 серий при одинаковом основном размере имеют одинаковую форму и размеры поперечного сечения рельса и двухрядное 45-градусное расположение дорожек качения (см. рис. 10 б), об особенностях которого подробно говорилось в п. 3.3. Внешний вид направляющих серии SBM (S) приведен на рис. 17. Ее отличительные особенности – еще меньшие, чем у серий компактных направляющих, размеры рельса и кареток (имеющих два исполнения по длине) и однорядное расположение дорожек качения. Соответственно, направляющие этой серии обладают меньшими нагрузочными способностями.

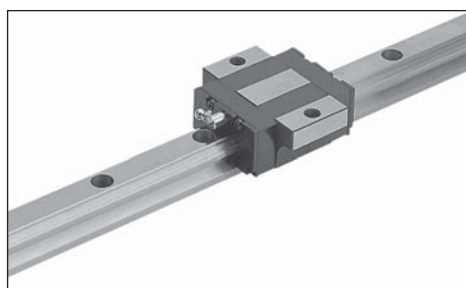


Рис. 15. Внешний вид направляющих серии SBC-FV производства SBC.

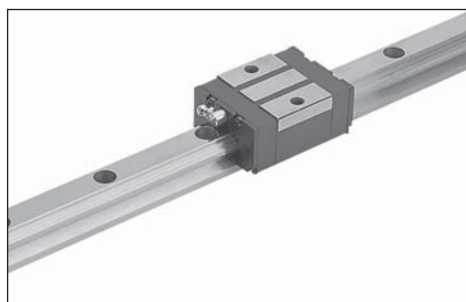


Рис. 16. Внешний вид направляющих серии SBS-SV производства SBC.

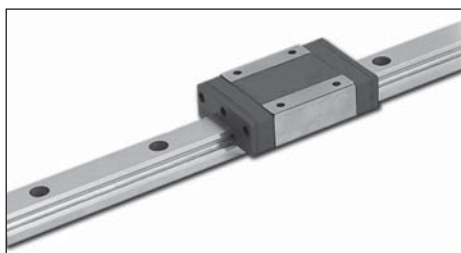


Рис. 17. Внешний вид направляющих серии SBM (S) производства SBC.

Базовым размером направляющих SBC служит ширина  $W_1$  основания рельса. Серия SBG-FL (SL) изготавливаются в 8 типоразмерах с шириной  $W_1$  от 15 до 63 мм; серия SBG-FLL (SLL) – в 7 типоразмерах ( $W_1$  – от 20 до 63 мм); серия SBS-SL – в 6 типоразмерах ( $W_1$  – от 15 до 34 мм); серия SBS-SLL – в 5 типоразмерах ( $W_1$  – от 20 до 34 мм); серия SBS-FV (SV) – в 3 типоразмерах ( $W_1$  – от 15 до 23 мм); серия SBM (S) – в 6 типоразмерах ( $W_1$  – от 9 до 15 мм).

Рельсы могут поставляться с интервалами длины от 7 до 15, предусмотрена возможность их стыковки при монтаже; места стыковки имеют соответствующее обозначение. Предусмотрена возможность крепления рельсов как сверху (со стороны размещения каретки), так и снизу (со стороны станины).

По заказу рельсы могут поставляться с антикоррозийным покрытием Raydent™.

Каретки по ширине имеют 2 конфигурации: а) увеличенной ширины с фланцем, с креплением на узел станка снизу (со стороны основания рельса) – см. рис. 12, и б) обычной ширины без фланца с креплением на узел станка на расположенные сверху резьбовые отверстия – см. рис. 13. По длине каретки также имеют два исполнения – обычной длины и увеличенной длины, о чем уже говорилось выше.

Принципиальная конструкция направляющих и кареток SBC не отличается от описания, приведенного в п. 2. Расположение дорожек качения соответствует рис. 10 б с уже указанными ранее особенностями такого 45-градного расположения. Направляющие могут устанавливаться как на горизонтально, так и на вертикально перемещающихся узлах, с размещением кареток как на неподвижных, так и на подвижных частях станка.

Компания сообщает [5] об освоении в скором времени новых серий РНК: малошумных с гибким сепаратором (см. рис. 11 и 24); с широкими рельсами и каретками, выдерживающими большие моменты; с защитными лентами на поверхности рельса; из нержавеющей стали; с улучшенной смазкой и системой защиты от пыли и мелкой стружки. Однако их размерные и нагрузочные характеристики пока что не публикуются.

#### 4.2. Размеры и нагрузочная способность направляющих.

Габаритные и некоторые другие характерные размеры направляющих обозначены на рис. 18, а их величины и показатели нагрузочной способности выборочно, для наибольшего и наименьшего основного размера в каждой серии, приведены в табл. 2. Из нее следует, что потенциальные заказчики имеют широкий выбор направляющих как по размерам (от миниатюрных – длина  $\times$  ширина  $\times$  высота составляет 610x20x10 мм, до достаточно больших – длина практически не ограничена, так как рельсы могут быть составлены из нескольких кусков шириной до 170 мм и высотой до 90 мм), так и по нагрузочной способности (базовая динамическая нагрузка – от 8330 Н\* до 189140 Н).

Диапазон размеров и нагрузочных характеристик РНК фирмы SBC, таким образом, охватывает потребности как производителей высокоточного оборудования (медицинской техники, научного и лабораторного оборудования, измерительных приборов и аппаратуры) так и основной массы производителей машин и механизмов для большинства отраслей машиностроения.

#### 4.3. Эксплуатационные характеристики направляющих.

**4.3.1.** По точности направляющие SBC изготавливаются в трех классах: N, H и P. Допусками регламентируются параметры  $H$ ,  $\Delta H$ ,  $W_2$ ,  $\Delta W_2$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta D$ , указанные в п.п. 3.2.1 – 3.2.4, в соответствии с рис. 7. Величины допусков приведены в табл. 3 и на рис. 19. Размеры  $H$  и  $W_2$  измеряются в среднем сечении каретки.

\*Величина указана для РНК базового размера 15. Для миниатюрных направляющих наименьшая величина  $C$  составляет 1568 Н.



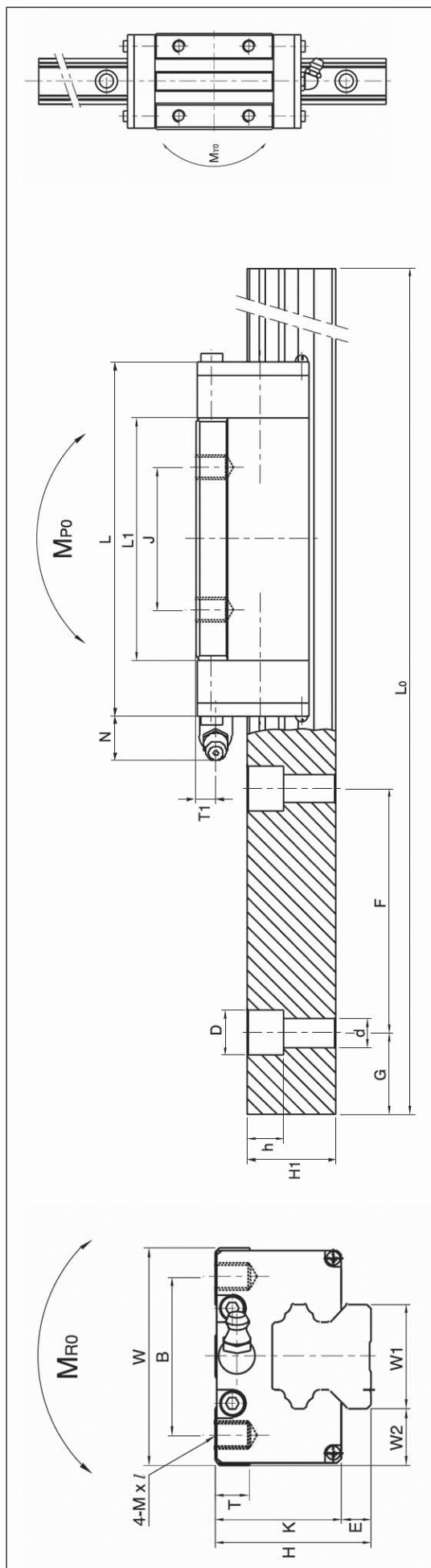


Рис. 18. Обозначения размеров и параметров к таблице 2.

Габаритные и характерные размеры направляющих, их нагрузочные и весовые характеристики (выборочно).

Таблица 2

№ п/п	Обозначение направляющей	Габаритные размеры, мм				Размеры рельса, мм				Размеры каретки, мм						Вылет базы каретки от базы рельса, мм	Базовые нагрузки, Н		Допустимые статические моменты, Н/м			Вес, Н	
		L <sub>0 max</sub>	W1	H1	L <sub>0 max</sub>	W1	H1	L	L1	W	K	W2	C <sub>0</sub>	C	M <sub>x0</sub>		M <sub>y0</sub>	M <sub>z0</sub>	Каретки	Одного метра рельса			
1	SBG15FL	3000	47	28	3000	15	15	58,8	38,8	47	21,35	16	13426	8330	70	50	50	1,8	14,5				
2	SBG65FL	3000	170	90	3000	63	58,5	189	147	170	72,5	53,5	240100	147980	6290	4950	4840	67	239				
3	SBG15SL	3000	34	28	3000	15	15	58,8	38,8	34	25,35	9,5	13426	8330	70	50	50	2	14,5				
4	SBG65SL	3000	126	90	3000	63	58,5	189	147	126	72,5	31,5	240100	147980	6290	4950	4840	65,5	239				
5	SBG20FLL	4000	63	30	4000	20	17,5	93,2	66,8	63	26,5	21,5	36554	16905	290	320	320	5,4	22				
6	SBG65FLL	3000	170	90	3000	63	58,5	249	207	170	72,5	53,5	320460	189140	8340	8500	8300	95	239				
7	SBG20SLL	4000	44	30	4000	20	17,5	93,2	66,8	44	26,5	12	36554	16905	290	320	320	4,5	22				
8	SBG65SLL	3000	126	90	3000	63	58,5	249	207	126	72,5	31,5	320460	189140	8340	8500	8300	94	239				
9	SBS15SL	3000	34	24	3000	15	15	58,8	38,8	34	21,35	9,5	13426	8330	70	50	50	2	14,5				
10	SBS35SL	4000	70	48	4000	34	29	109,5	80,4	70	40,5	18	68698	38808	960	750	730	16,3	64				
11	SBS20SLL	4000	44	28	4000	20	17,5	93,2	66,8	44	24,5	12	36554	16905	290	320	320	4,5	22				
12	SBS35SLL	4000	70	48	4000	34	29	135	105,9	70	40,5	18	90405	46070	1260	1330	1310	21,2	64				
13	SBS15FV	3000	47	24	3000	15	15	42,9	22,9	47	21,35	16	7232	4488	40	30	30	1	14,5				
14	SBS25FV	4000	70	33	4000	23	21,8	62,6	35,2	70	28	23,5	21109	11290	190	170	17	3,7	31				
15	SBS15SV	3000	34	24	3000	15	15	42,9	22,9	34	21,35	9,5	7232	4488	40	30	30	1	14,5				
16	SBS25SV	4000	48	33	4000	23	21,8	62,6	35,2	48	28	12,5	21109	11290	190	170	170	3,2	31				
17	SBM (S) 9	1400 610	20	10	1400 610	9	5,3	32	18	20	7,8	5,5	2352	1568	10,6	5,2	5,2	0,18	3,3				
18	SBM (S) L15	1400 610	32	16	1400 610	15	9,5	58,5	43,2	32	12	8,5	10682	7154	54,1	50,3	54,6	0,93	9,25				

Допустимые отклонения параметров направляющих по классам точности в мкм.

Таблица 3

Обозначения поверхностей и размеров по рис. 7	Класс точности					
	N	H	P	N	H	P
Допуски на высоту H и размер W2	±100	±40	±20	±40	±25	±15
Допуски $\Delta H$ и $\Delta W2$ на разницу в размерах H и W2 кареток, смонтированных на одном рельсе	30	15	7	30	20	10
Серии направляющих	SBG и SBS			SBM (S) – миниатюрная		

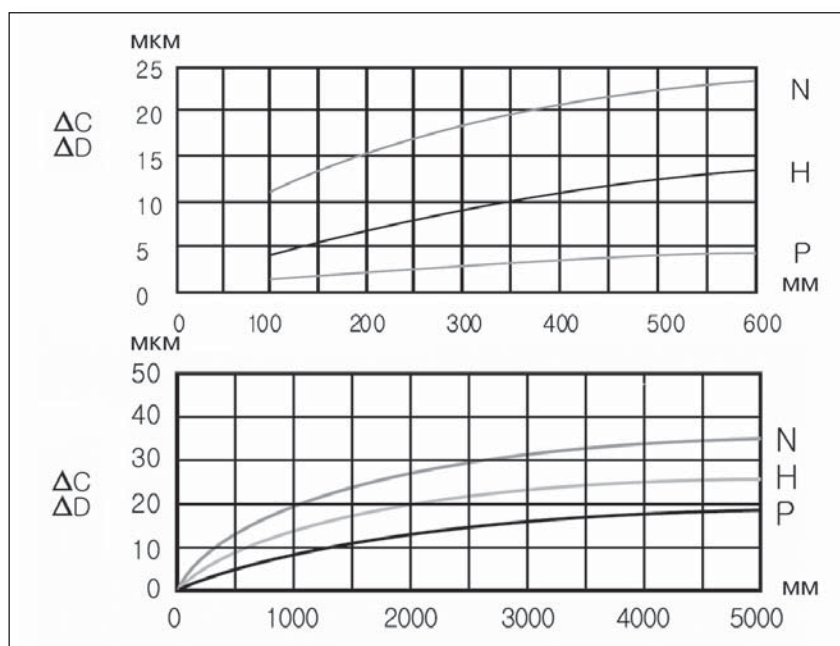


Рис. 19. Допуски на параллельность перемещения верхней  $\Delta C$  и боковой  $\Delta D$  поверхностей каретки к базовым плоскостям А и В рельса (N, H и P – классы точности).  
а) серия SMS (S); б) серии SBC, SBS

Параллельность и прямолинейность перемещения каретки измеряются по методике, подробно изложенной в п. п. 3.2.4 и 3.2.5.

Сопоставление приведенных показателей точности направляющих SBC с допусками на точность для отечественных металлорежущих станков показывает, что класс точности направляющих P отвечает требованиям станков класса B, класс H – классу точности станков П, класс N – классу точности станков H.

Компания SBC, благодаря, как это было отмечено в п. 3.2, значительной компенсационной способности шариковых РНК с круговой формой сечения дорожек качения, допускает возможность значительных монтажных погрешностей направляющих, связывая их величину с размерами направляющих, расстояниями между рельсами (каретками) и величиной преднатяга (величины преднатяга указана ниже в п. 4.3.2).

Допустимая непараллельность P двух рельсов на всей их длине в соответствии с рис. 20 приведена в табл. 4, допустимая разновысотность  $S_1$  установки рельсов в соответствии с рис. 21 – в табл. 5 (по формуле  $S_1 = a \cdot Y$ ), а допустимая разновысотность  $S_2$  верхних плоскостей двух кареток, установленных на одном рельсе, в соответствии с рис. 22 определяется по формуле  $S_2 = b \cdot 0,00004$ .

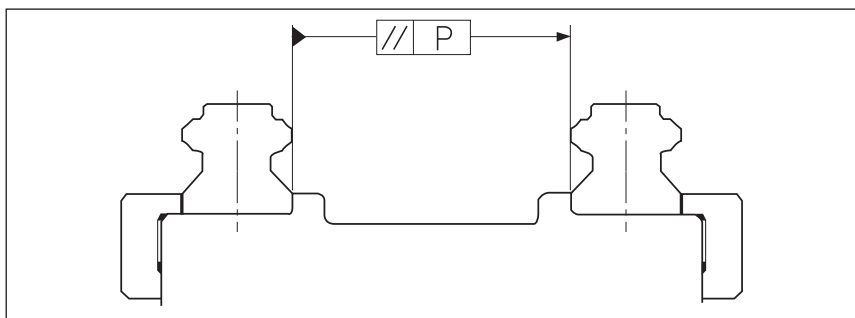


Рис. 20. Допустимая непараллельность монтажа рельсов Р.

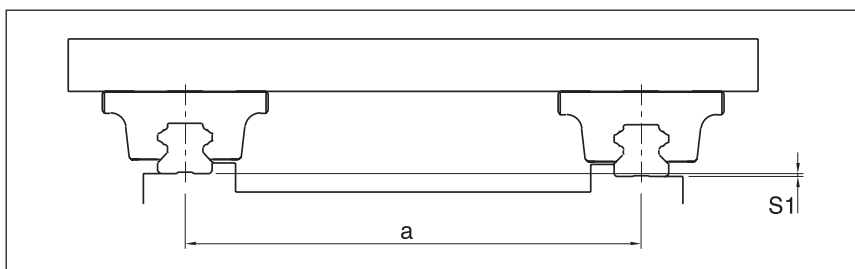


Рис. 21. Допустимая разновысотность монтажа рельсов S1.

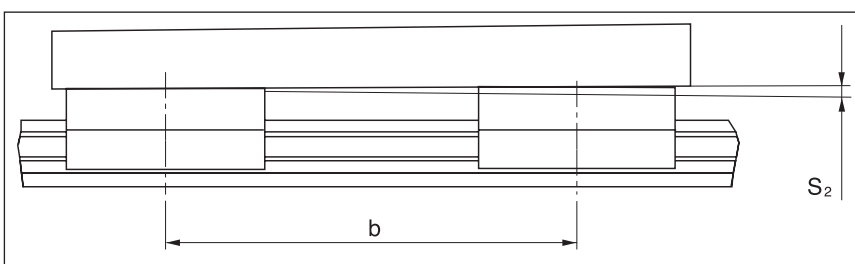


Рис. 22. Допустимая разновысотность S2 верхних плоскостей двух кареток, установленных на одном рельсе.

Допускаемая непараллельность монтажа рельсов Р, мкм

Таблица 4

Типоразмер направляющих	Класс преднатяга		
	45	60	40
15	25	18	–
20	25	20	18
25	30	22	20
30	40	30	27
35	50	35	30
45	60	40	35
55	70	50	45
65	80	60	55

Допускаемая разновысотность монтажа рельсов S1, мкм

Таблица 5

Коэффициент разновысотности	Класс преднатяга		
	K1	K2	K3
γ	0,0004	0,00026	0,00017

Следует отметить, что указанные величины монтажных погрешностей установлены исходя из обеспечения работоспособности РНК без существенного увеличения сил трения, качения и срока службы, и не связаны с погрешностями подвижного узла по прямолинейности его перемещения и постоянству углового положения. Требования обеспечения точности перемещения подвижного узла могут внести существенные коррективы в указанные выше величины допустимых монтажных погрешностей, которые в конкретных случаях уточняются экспериментально.

**4.3.2.** По величине предварительного натяга направляющие SBC подразделяются на три класса – с нормальным (K1), легким (K2) и сильным преднатягом (K3). Значения преднатяга, измеренные в направлении действия радиальной силы 1 (см. рис. 6), приведены в табл. 6. Преднатяг класса K2 соответствует радиальной силе 0,05 С, преднатяг класса K3 – силе 0,08 С, где С – базовая динамическая нагрузка для данного типоразмера РНК. Компания SBC рекомендует использовать класс преднатяга K1 в случаях, когда нагрузка постоянна по направлению, а удары и вибрации незначительны; класс K3 рекомендован для применений с интенсивными нагрузками, в том числе ударными и вибрационными.

Величины зазора (знак +) и преднатяга (знак -), в мкм

Таблица 6

Обозначение направляющей	Нормальный преднатяг K1	Легкий преднатяг K2	Сильный преднатяг K2
SBG/SBS-15	-4...+2	-12...-4	–
SBG/SBS-20	-5...+2	-14...-5	-23...-14
SBG/SBS-25	-6...+4	-16...-6	-26...-16
SBG/SBS-30	-7...+4	-19...-7	-31...-19
SBG/SBS-35	-10...+5	-22...-8	-35...-22
SBG-45	-12...+5	-25...-10	-40...-25
SBG-55	-12...+5	-29...-12	-46...-29
SBG-65	-14...+7	-32...-14	-50...-32
SBM (S) -9	±2	-4...0	–
SBM(S)-12	±3	-6...0	–
SBM(S)-15	±5	-10...0	–
Усилие преднатяга*		0,05 С	0,08 С

**4.3.3.** Связи между жесткостью направляющих и величинами предварительного натяга в форме соответствующих графиков компания-изготовитель не предоставляет, известны лишь отдельные сведения о величинах жесткости этих направляющих. Так, при легком преднатяге (K2) жесткость составляет (в кН/мкм)

SBG 15 SL – 0,44; SBC 25 SLL – 0,77;

SBG 25 SL – 0,6; SBC 35 SLL – 1,01;

SBG 35 SL – 0,84.

**4.3.4.** Данные по скоростным и шумовым характеристикам основных серий РНК SBC не раскрывает. В информационном сообщении [5] об осваиваемых новых сериях РНК, упоминавшихся ранее в п. 4.1, приведены эскизы РНК серии SBG (SBG (S)-30...65-С) с беззазорным расположением шариков (см. рис. 23) и серии SPB – малозумных направляющих с гибким сепаратором и антифрикционной прокладкой между шариками (см. рис. 24). Там же приведены сведения об уровнях шума в зависимости от скорости (см. рис. 25). На графике видно, что обе серии допускают скорости перемещений кареток до 150 м/мин (т.е. 2,5 м/с), а уровень

\*С - базовая динамическая нагрузка для соответствующего типоразмера направляющей.

шума при таких скоростях у направляющих с безззорным размещением шариков составляет 75 дБ, у направляющих малошумных с гибким сепаратором – 65дБ, что подтверждает сказанное ранее в п. 3.6.

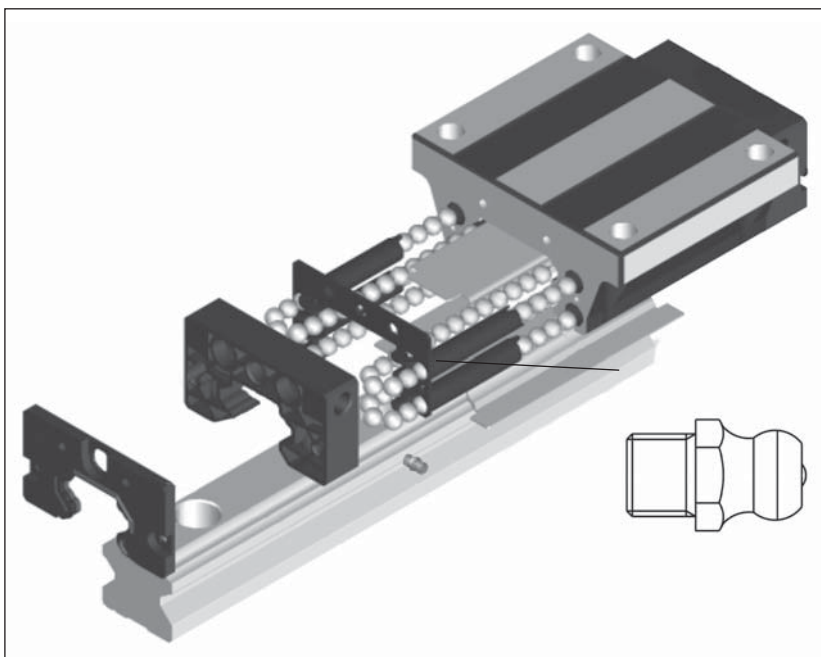


Рис. 23. Рельсовая направляющая с кареткой новой серии SBG(S)-С с безззорным размещением шариков на опорных дорожках.

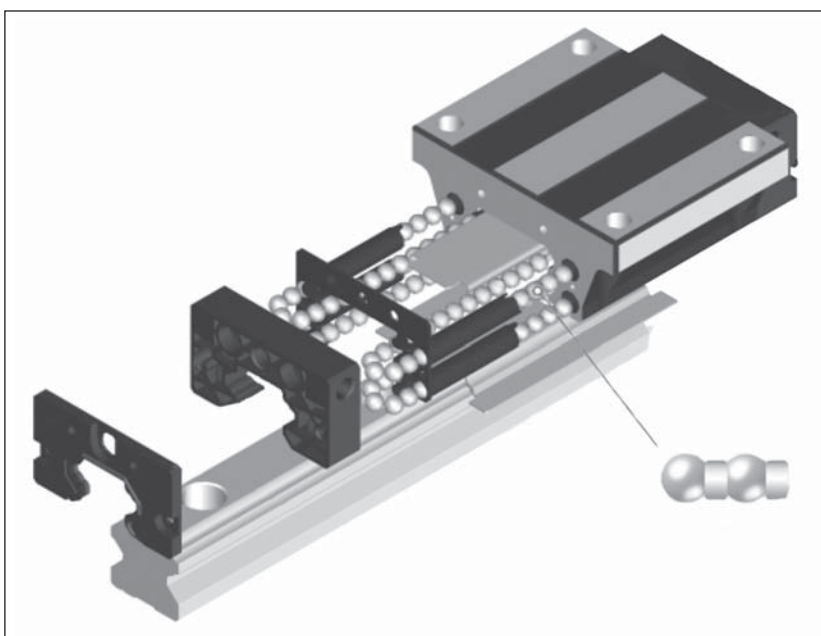


Рис. 24. Конструкция каретки с гибким сепаратором малошумной серии SPB.

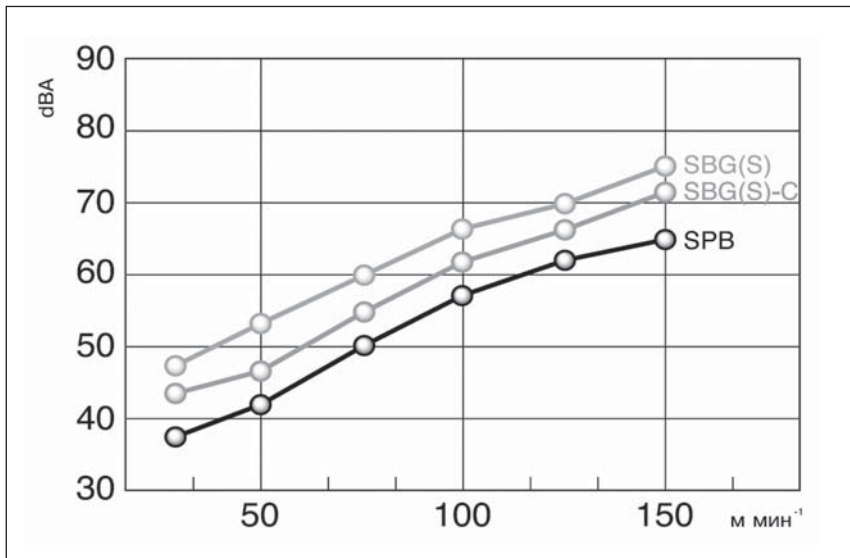


Рис. 25. Зависимость уровня шума от скорости перемещения каретки у новых серий направляющих SBC.

**4.3.5.** Для обеспечения безотказности в работе и сохранения первоначальной точности в течение длительного времени компания SBC предусматривает оснащение РНК защитными устройствами и системами смазки. Для защиты от попадания в механизм пыли, грязи, мелкой стружки используются металлические скребки с уплотняющей прокладкой (см. рис. 26), установленные на крышках на торцах каретки; такая защита поставляется со всеми сериями РНК SBC.

Монтажные отверстия для крепления рельса защищаются прокладками из полимеров. Для защиты направляющих в условиях эксплуатации в сильно запыленных и загрязненных помещениях компания SBC рекомендует установку гофрированной защиты, схема такой защиты приведена на рис. 27. Смазка РНК производится либо централизованно от смазочной системы станка, либо через ниппели и прессмасленки с использованием рекомендованных SBC консистентных смазок и масел. Вид и марки смазки зависят в т. ч. от условий нагружения направляющей и скорости перемещения каретки, подробные рекомендации даются в фирменном руководстве по РНК [4].

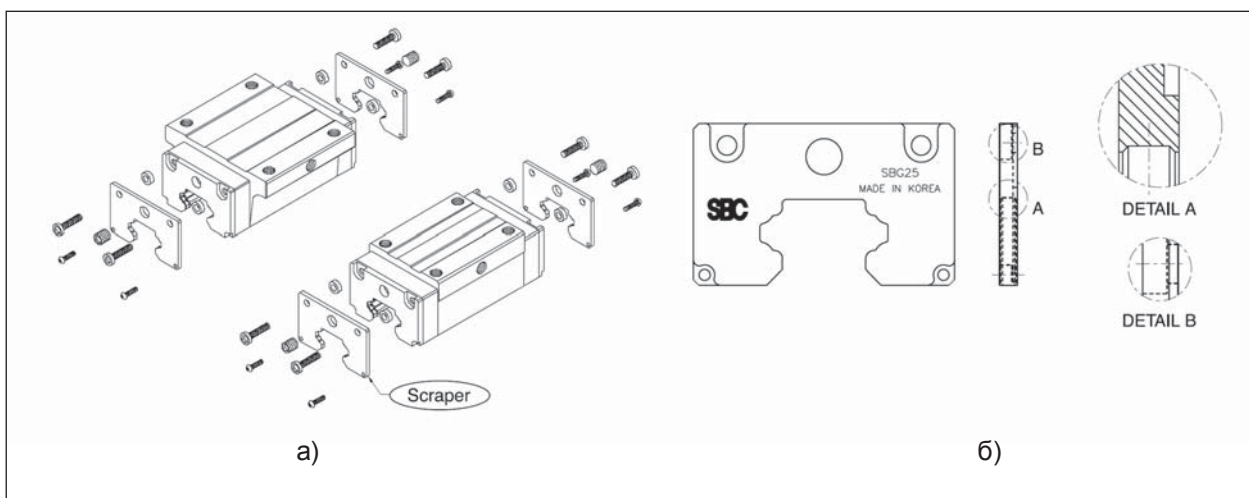


Рис. 26. Защита РНК с помощью а) скребков; б) уплотняющих прокладок.

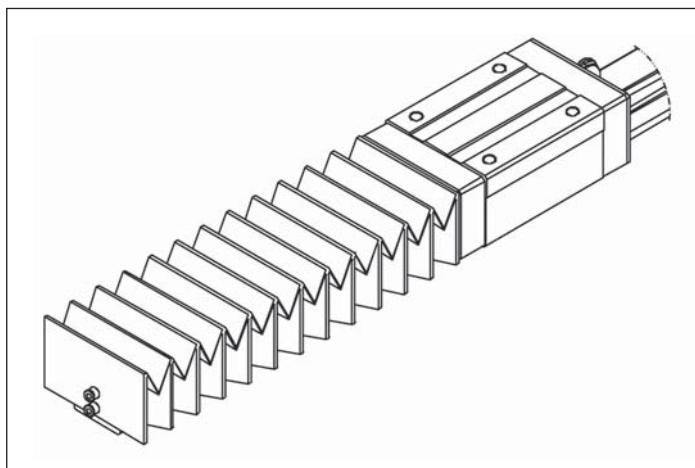


Рис. 27. Гофрированная защита направляющих.

В новых сериях направляющих [5] предусматривается использование гибкой защитной ленты, а также применение новых марок сплавов, в т. ч. нержавеющей и высокоуглеродистой стали, однако подробности конструкции и технические характеристики.

## 5. Сравнение РНК производства SBC с аналогичными направляющими других мировых производителей.

Сопоставление направляющих SBC с продукцией других торговых марок, на мой взгляд, позволит выявить их достоинства и недостатки, лучше оценить перспективы их использования в отечественном машиностроении. Поскольку автор настоящей статьи работает в области станкостроения, то сопоставление будет производиться главным образом с точки зрения оценки перспектив использования РНК SBC в металлорежущих станках (так как это одно из наиболее ответственных и показательных применений). Из перечисленных в п. 2 иностранных компаний, производящих РНК серийно, российским машиностроительным предприятиям особенно хорошо знакомы имена THK, Bosch Rexroth и INA, в связи с чем можно ограничиться сравнением направляющих SBC с аналогичной продукцией трех перечисленных производителей. Сопоставление будет производиться по показателям, соответствующим п. 4 настоящей работы.

### 5.1. Шариковые РНК Rexroth Star [6] производства Bosch Rexroth (Германия).

Производство Rexroth Star сертифицировано по стандартам ISO:9001.

#### 5.1.1. Классификация направляющих Rexroth Star.

Особенностью классификации направляющих Rexroth Star является наличие отдельных типажей кареток и рельсов. И каретки, и рельсы одного базового размера и класса точности полностью взаимозаменяемы, поэтому их можно комбинировать произвольным образом.

Восемь базовых типоразмеров у большинства направляющих Rexroth Star точно такие же, как и у направляющих SBC: 15, 20, 25, 30, 35, 45, 55, 65. Основным размером – ширина основания рельса – такой же, а вот высота рельса немного больше. В дополнение к перечисленным базовым размерам компания Bosch Rexroth выпускает так называемые «широкие» направляющие в трех базовых типоразмерах: 20/40, 25/70, 35/90 с размерами основания рельса, соответственно, 42, 69 и 90 мм. Наибольшие длины одного элемента рельсов такие же, как и у РНК SBC.

Рельсы Rexroth Star предусматривают крепление как снизу, так и сверху. Большинство направляющих имеют пять вариантов исполнения, отличающихся видом крепления (сверху, снизу) и типом защиты (с защитной лентой, с покрытием Zn-Fe, с «желтым» хромированием, с твердым хромированием).

Рельсы «широких» направляющих имеют исполнения с креплением сверху и с креплением снизу, и могут поставляться с защитной лентой, с покрытием Zn-Fe с «желтым» хромированием.



Серия «широких» направляющих, наличие защитных лент и покрытий – основные конструктивные отличия направляющих Rexroth Star от SBC.

Каретки Rexroth Star имеют восемнадцать вариантов исполнения: шестнадцать из стали и два из алюминия.

Основная номенклатура кареток (12 исполнений) точно такая же, как у SBC: (с фланцем, без фланца; крепление сверху, крепление снизу), а их основное отличие – три (вместо двух у SBC) исполнения по длине. По высоте каретки имеют 3 вида исполнения: обычное, низкое, высокое. Диапазон габаритных размеров кареток (длина x ширина x высота) – от 40,5x34x19,8 мм до 243x170x76 мм; для серии широких кареток – от 73x80x23,5 мм до 142x162x42,5 мм.

Принципиальная схема контакта шариков с кареткой и рельсом соответствует рис. 10 б: 45-градусное расположение точек контакта, но конструктивное исполнение несколько иное. На рис. 28 изображены 2 типа конструкции – обычный (а) и с самоустановкой (б). Второй тип (так называемые «суперкаретки S» из инструментальной стали) отличается особой конструкцией опоры шариков, качающейся по принципу коромысла. Самоустановка обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всем шарикам ряда даже при наличии значительных угловых отклонений от оси рельса (до 10 угловых минут), в т. ч. связанных с некачественной обработкой монтажных поверхностей станка.

Другим важным отличием Rexroth Star от SBC является наличие в модельном ряду кареток из алюминия, которые примерно на 60% легче аналогичных кареток, выполненных из стали.

Каретки Rexroth Star изготовлены из высококачественного легированного алюминия с закрепленными в них шлифованными стальными вкладышами с дорожками для шариков. Конструкция кареток – с самоустанавливающейся качающейся опорой, т.е. такая же, как на рис. 28 б. Каретки имеют четырех базовых типоразмера: 15, 25, 30 и 35. Варианты исполнения: стандартный (с фланцем) и узкий (без фланца). Классы точности и исполнительные размеры соответствуют сериям с исполнением из стали, что обеспечивает их взаимозаменяемость (при одинаковом классе точности).

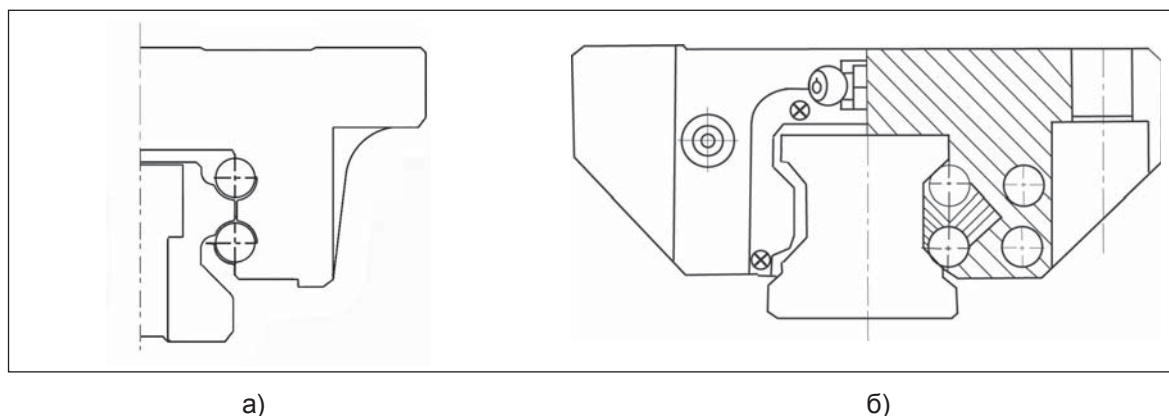


Рис. 28. Схемы контакта шариков качения с рельсом и кареткой:  
а) обычный 2-х точечный 45° контакт;  
б) с самоустанавливающейся качающейся опорой.

В каталоге Bosch Rexroth [6] есть упоминание о том, что фирма производит миниатюрные направляющие и направляющие со встроенной измерительной системой, однако более подробной информацией по этим типам РНК мы не располагаем.

#### 5.1.2. Эксплуатационные характеристики направляющих Rexroth Star.

**5.1.2.1.** Диапазон базовых динамических нагрузок  $C$  лежит в интервале от 4900 Н для базового типоразмера 15 и до 267000 Н для базового типоразмера 65. Диапазон базовых статических нагрузок, соответственно, составляет от 8100 Н до 289000 Н, т.е. по динами-

ческой нагрузке значительно выше, а по статической – немного ниже, чем у SBC. Однако в основной части базовых размеров направляющих, правильно подбирая длину каретки, можно обеспечить достаточно близкое соотношение базовых нагрузок.

Базовые динамические нагрузки и моменты у кареток из алюминия во всех четырех типоразмерах (от 15 до 35) такие же, как у кареток из стали. Базовые статические нагрузки и моменты для них не регламентируются, однако допустимые предельные нагрузки и моменты для кареток из алюминия значительно ниже, что и оговорено в каталоге продукции Rexroth Star [6].

Суперкаретки S из стали изготавливаются в тех же четырех типоразмерах, что и каретки из алюминия. Стоит отметить, что нагрузочные характеристики таких кареток значительно ниже, чем у обычных стальных кареток тех же размеров. Например, у узких коротких кареток 35 типоразмера серии S величина  $C = 4900$  Н, а у таких же обычных кареток из стали  $C = 6800$  Н. У кареток серии S базовые статические нагрузки и моменты не регламентируются, но допустимые предельные нагрузки и моменты у них значительно ниже, чем у обычных стальных кареток тех же размеров.

У «широких» направляющих величины  $C$  и  $C_0$  примерно такие же, как у стандартных стальных РНК, при этом базовые динамические и статические моменты в 3–5 раз больше.

**5.1.2.2.** Основная номенклатура РНК Rexroth Star изготавливается по пяти классам точности: N, H, P, SP и UP. Компанией SBC прецизионные классы SP и UP не выпускаются. Допусками у обоих производителей регламентируются одни и те же параметры. По классам точности N, H и P допустимые отклонения практически совпадают, допуски по классам точности SP и UP у направляющих Rexroth Star, соответственно, в 1,6 и 2,5 раза жестче, чем по классу точности P и отвечают требованиям отечественных станков классов точности A и C. Допустимые монтажные погрешности у основных исполнений РНК Rexroth Star примерно такие же, как у SBC, а у направляющих с суперкаретками S – больше значительно, но только при преднатяге не более 0,02 С.

**5.1.2.3.** По величине преднатяга направляющие Rexroth Star делятся на четыре класса: а) с зазором до 10 мкм; б) с преднатягом 0,02 С; в) с преднатягом 0,08 С; г) с преднатягом 0,13 С. Каретки из алюминия, суперкаретки S и каретки «широких» направляющих изготавливаются только с преднатягом 0,02 С.

Компания Bosch Rexroth приводит подробные сведения о жесткости своих РНК всех исполнений. Для основной номенклатуры стальных кареток при предварительном натяге 0,08 С жесткость типоразмера 15 по отношению к радиальной нагрузке R (см. рис. 6) составляет 0,3 кН/мкм, а типоразмера 65 – 1,6 кН/мкм; по отношению к обратной радиальной  $L^*$  и тангенциальной T нагрузкам жесткости составляют, соответственно,  $\approx 0,6$  и 0,8 от жесткости к нагрузке R. Для размера 35 жесткость равна 0,8 кН/мкм, т.е. соответствует жесткости соответствующих типоразмеров направляющих и кареток SBC (см. п. 4.3.4).

Параметры жесткости направляющих кареток из алюминия приводятся для преднатяга 0,02 С и лежат в диапазоне от 100 до 400 Н/мкм, жесткость «широких» направляющих при таком же натяге составляет от 200 до 1000 Н/мкм, а направляющих серии S – от 50 до 150 Н/мкм. Для предотвращения снижения ресурса РНК Rexroth рекомендует ограничивать величину выбираемого преднатяга 1/3 эквивалентной нагрузки.

РНК Rexroth Star допускают скорости перемещения кареток до 5 м/с, хотя рекомендуемая предельная скорость и составляет 3 м/с (180 м/мин), при этом ускорение практически не ограничено (допустимые параметры ускорения до 250 м/с<sup>2</sup> для отечественного станкостроения представляются избыточными).

\*Для типоразмера 15 при предварительном натяге 0,02 С параметры жесткости в направлениях С и Т практически одинаковы и составляют  $\approx 80\%$  от жесткости в направлении R.

Шумовые характеристики для своих направляющих производитель не приводит. Малошумное исполнение РНК с гибкими сепараторами компания не рекламирует, ограничиваясь лишь упоминанием о том, что при проблемах с шумностью могут поставляться каретки с разделением шариков.

**5.1.3. Обеспечение безотказности в работе и длительного сохранения первоначальной точности.**

Для этих целей Rexroth Star традиционно использует защитные устройства и покрытия, смазочные системы, скребки и уплотнения.

Основными защитными устройствами для Rexroth Star являются высокопрочные ленты и гофро рукава. Ленты изготавливаются из нержавеющей стали толщиной от 0,15 до 0,3 мм и закрывают все отверстия для крепления рельса сверху. Концы ленты удерживаются защитными накладками. Рельсы с твердым хромированием (характеристики хромирования не указываются) с креплением сверху оснащаются пластиковыми защитными колпачками, которые прикрывают монтажные отверстия. Для защиты рельса могут применяться гофрированные рукава из термостойкой металлизированной ткани, защищающей рельс от попадания, например, абразива или горячей стружки.

К торцевым крышкам кареток крепятся смазочные плиты вместе со скребком и уплотнением. Они защищают механизм каретки от пыли, грязи и мелкой стружки. Смазочные плиты обычно изготавливаются из алюминия, скребки – из нержавеющей стали.

Смазочные плиты каретки могут оснащаться смазочными ниппелями или шприц-масленками с различного рода переходниками и входной арматурой для полимерных шлангов (при централизованной смазке). Опционально возможно дооснащение кареток дополнительными смазочными узлами и специальными уплотнениями по краям, что позволяет довести наработку без пополнения до 10000 км (при консистентной смазке – не более 1000 км, при смазке маслом шприц-масленкой – не более 100 км). В руководстве по эксплуатации РНК (каталог [6]) производитель дает подробные рекомендации по смазочным материалам (консистентным смазкам и маслам), объемам смазки, интервалам между Т/О и т. п.

## **5.2. Шариковые рельсовые направляющие INA (Германия).**

### **5.2.1. Классификация РНК INA**

Модельный ряд РНК INA включает 18 основных серий направляющих и отдельную серию миниатюрных направляющих (KUM E...CVA), информацией по которой мы не располагаем. Вместо традиционных 8 базовых типоразмеров INA выпускает шариковые направляющие только в 7. Это типоразмеры 15, 20, 25, 30, 35, 45, 55, основа – ширина основания рельса. Основное отличие модельного ряда РНК INA – серия с шестью дорожками шариков (KUSE) в дополнение к серии с двумя (KUE) и четырьмя (KUVE) дорожками (рис. 29). Исполнения с двумя и четырьмя дорожками шариков имеют точно такую же схему расположения дорожек с 45-градусным расположением точек контакта, что и SBC и Rexroth.

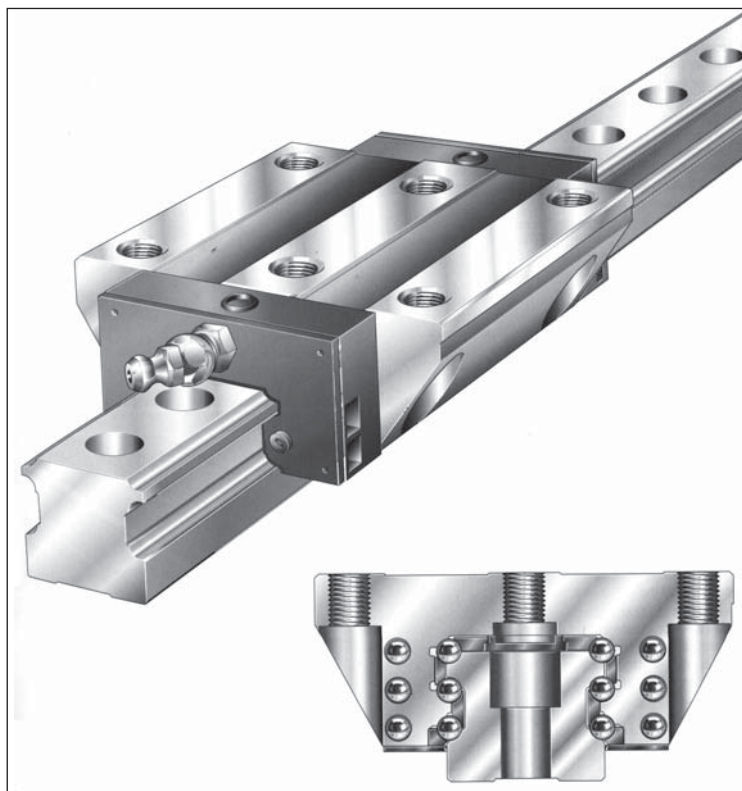


Рис. 29. Направляющие INA с шестью дорожками (серия KUSE).

Общий диапазон нагрузочных способностей шариковых РНК INA включает базовую динамическую нагрузку  $C$  – от 6500 Н до 125400 Н, и статическую нагрузку  $CO$  – от 9200 Н до 312000 Н. Диапазон высот – от 21 до 80 мм. Наибольшая длина одного рельса – 2960 мм (и до 6 м на заказ). Диапазон ширин кареток – от 34 мм до 162 мм; диапазон длин кареток – от 38,9 до 196,7 мм. Каретки имеют исполнения с фланцем (крепление рельса снизу), без фланца (крепление рельса сверху), и разные исполнения по длине, высоте и по количеству монтажных отверстий (2, 4, 6).

Каретки одной серии, типоразмера и класса точности полностью взаимозаменяемы. РНК могут поставляться как в комплекте с кареткой (KUSE), так и по отдельности: отдельно рельсы (TKSD), отдельно каретки (KWSE).

Направляющие имеют следующие варианты исполнения: а) с креплением сверху (TKVD); б) с креплением снизу (TKVD...U), в) с продольным утолщением вдоль рельса внизу для крепления прихватом (TKVD...K), г) с зубчатой нижней плоскостью с креплением через боковые отверстия (TKVD...ZHP, см. рис. 30).

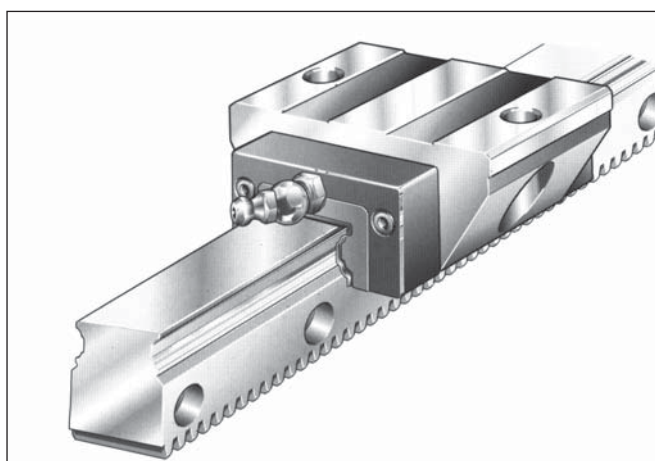


Рис. 30. Внешний вид РНК с кареткой INA серии TKVD с зубчатой нижней поверхностью.

РНК серии KUVЕ с четырьмя дорожками шариков могут изготавливаться со встроенной электронно-магнитной измерительной системой (магнитной линейкой). Наибольшая длина рельса при этом составляет 1520 мм, цена деления – 5 мкм.

Рельсы и каретки в сборе могут поставляться с защитным покрытием Corrotect, подробных сведений о котором в своих информационных материалах производитель не указывает.

Для защиты комплектующих в процессе поставки и хранения рельсы и каретки INA покрывают специальным антикоррозионным составом RRF или RRFT.

### 5.2.2. Эксплуатационные характеристики направляющих.

**5.2.2.1.** В каталоге продукции INA [7] помимо перечисленных в п. 5.2.1 основных характеристик РНК приводятся развернутые размерные и нагрузочные характеристики для каждого типоразмера. Наибольшая абсолютная динамическая нагрузка  $C$  у РНК INA значительно ниже, чем SBC Rexroth, что объясняется отсутствием в линейке РНК типоразмера 65. Максимальные статические нагрузки  $C_0$  у трех компаний примерно одинаковые. В основной части типоразмеров РНК можно подобрать направляющие весьма близкие по величине значений допустимых нагрузок любого из перечисленных производителей.

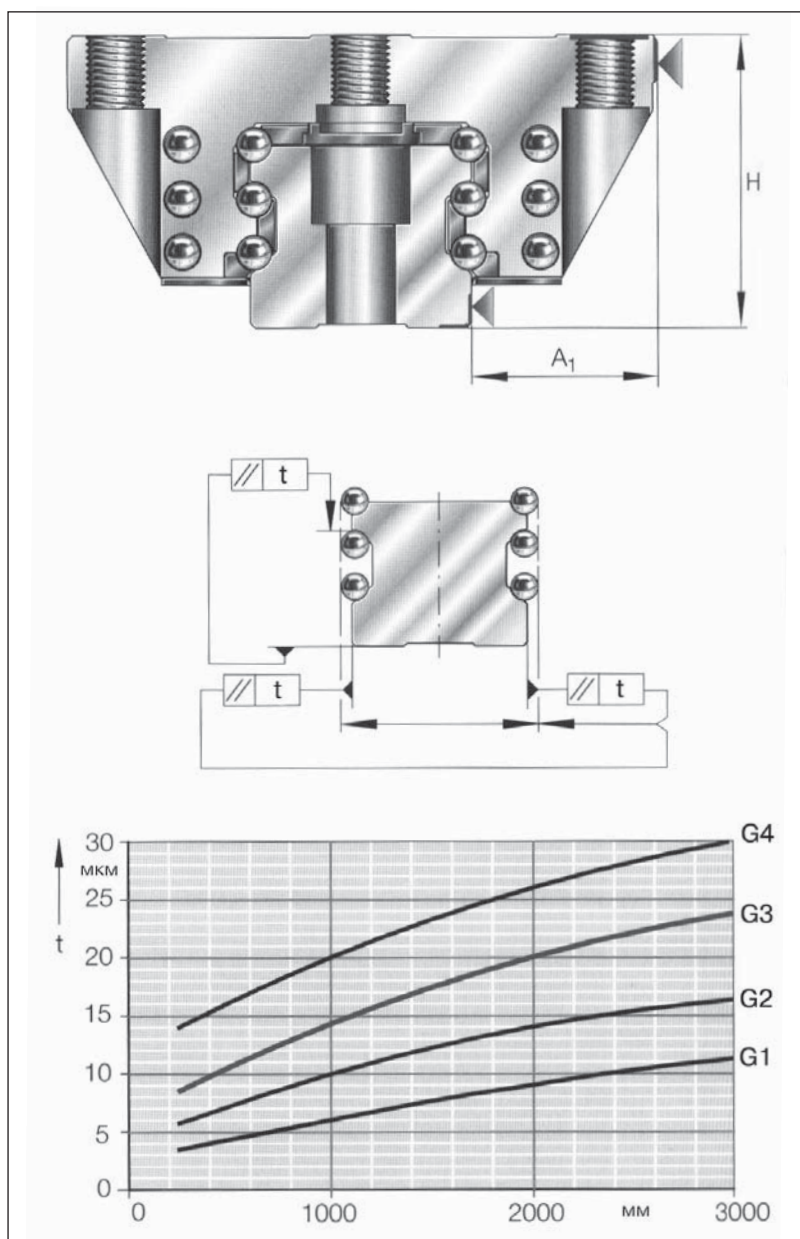


Рис. 31. Обозначение контролируемых размеров. Допуски на параллельность дорожек для РНК INA.

Базовая динамическая нагрузка  $C$  у направляющих серии KUSE по сравнению с направляющими серии KUVE того же типоразмера выше на 20-50% (в зависимости от типоразмера и исполнения). Такая существенная разница объясняется наличием шести рядов шариков вместо четырех. Третья пара рядов шариков позволяет системе РНК INA серии KUSE вплотную приблизиться по нагрузочным характеристикам к системе роликовых направляющих INA серии RUE того же типоразмера.

**5.2.2.2.** В зависимости от серии РНК INA изготавливаются по двум или четырем классам точности. Серии KUSE (с шестью дорожками) и KUVE (с четырьмя дорожками) изготавливаются по четырем классам точности (от G1 до G4), класс точности G3 считается основным.

Вместо проверок, описанных выше в п.п. 4.3.1 и 5.1.2.2, INA регламентирует допусками параллельность дорожек качения на рельсе его базовым вертикальной и горизонтальном плоскостям, как показано на рис. 31. Величины допусков указаны в табл. 7.

Допустимые отклонения размеров  $H$  и  $A_1$  (см. рис. 31).

Таблица 7

Допуск		G1, мкм	G2, мкм	G3 <sup>1</sup> , мкм	G4, мкм	RRF <sup>2</sup> , мкм	RRFT <sup>3</sup> , мкм
На высоту	$H$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 25$	$\pm 30$	+6	+3
На разницу в размерах $H$ кареток, смонтированных на одном рельсе	$\Delta H$	5	10	15	20	+3	0
На размер $A_1$	$A_1$	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 20$	$\pm 25$	+3	+3
На разницу в размерах $A_1$ кареток, смонтированных на одном рельсе	$\Delta A_1$	7	15	22	30	+3	0

Примечания к таблице:

<sup>1</sup> Основной класс точности.

<sup>2</sup> Допустимое дополнительное отклонение на покрытии Corrotect для рельса и каретки.

<sup>3</sup> Допустимое дополнительное отклонение на покрытии Corrotect (только для рельса).

Для исполнений с покрытием рельса и каретки защитой Corrotect допустимые отклонения увеличиваются на величину до +6 мкм. Допусками регламентируется параллельность, разновысотность установка рельсов и разновысотность верхних плоскостей двух кареток, установленных на одном рельсе, как это было показано ранее в п.п. 4.3.1 и 5.1.2.2. Величины допусков для разных типоразмеров на-правляющих, рассчитанных в зависимости от расстояний между ними и величины преднатяга, приведены в каталоге продукции INA [7]. Там же приведены допуски для серии направляющих с двумя дорожками качения (KUE) и некоторые другие допуски на конструктивные элементы рельса. Общий уровень точности направляющих INA достаточно высокий, выше классов N и H у SBC, но ниже классов SP и UP у Bosch Rexroth.

Требования к подготовке поверхностей станка к монтажу РНК у INA значительно выше, чем у SBC и Rexroth Star. Поверхности станка должны быть отшлифованы или тонко отфрезерованы, шероховатость поверхности не должна превышать  $Ra 1,6$ . Кроме того, INA предъявляет значительно более высокие требования к точности монтажа рельсов и кареток: по непараллельности монтажа рельсов – до 3 раз, по разновысотности установки рельсов – до 1,7 раз.

\*Производитель не указывает, как инструментально производить проверку параллельности дорожек качения на рельсе. Очевидно, эту проверку можно производить по схеме рис. 8, отождествляя допуск  $t$  с допусками  $\Delta C$  и  $\Delta D$  рис. 7 и рис. 19 б. Допуски  $t$  по классу G4 соответствуют допускам  $\Delta D$  и  $\Delta C$  класса N (таблица 19 б), а по классу G2 - допускам класса P для направляющих SBC.

**5.2.2.3.** РНК INA изготавливаются с двумя классами преднатяга. Величина преднатяга зависит от серии. Например, для серии KUSE преднатяг V1 равен 0,04 С, V2 равен 0,13 С, где С – базовая динамическая нагрузка для данного типоразмера направляющих; для серии KUVЕ преднатяг V1 такой же, а V2 составляет уже 0,1 С. Для серии КУЕ предусмотрен нулевой преднатяг V0 – с зазором, и преднатяг V1 – с выборкой зазора, но без указания на величину преднатяга.

Преднатяг V1 рекомендован для средних нагрузок и обеспечения высокой жесткости, V2 – для средних и высоких нагрузок, в том числе по переменным в широких пределах моментам, с одновременным обеспечением высокой жесткости, класс V0 – для обеспечения быстрых перемещений с легкой нагрузкой.

**5.2.2.4.** Для каждого типоразмера РНК серии KUSE производитель предоставляет подробные диаграммы зависимости упругих перемещений каретки от действия нагрузок R, L и T (см. рис.6). По диаграммам могут быть вычислены и соответствующие жесткости. Наибольшая жесткость имеет место при радиальной нагрузке R. При обратной радиальной нагрузке L жесткость меньше приблизительно на 50 %, а при тангенциальной нагрузке – вдвое меньше. Для основного исполнения направляющих KUSE 35 типоразмера жесткость составляет  $\approx$  Н 1,1 кН/мкм, что примерно на 40% выше, чем у соответствующей направляющей SBC (см. п. 4.3.4). Для других серий направляющих INA соответствующих диаграмм не предоставляет.

5.2.2.5. Коэффициент трения в диапазоне эффективных нагрузок от 5 до 25 % величин С для РНК INA серии KUSE лежит в пределах 0,001...0,002, для серии KUVЕ – в пределах 0,0007 до 0,0015, для серии КУЕ – в пределах от 0,002 до 0,004. При определении усилия трения необходимо дополнительно учитывать влияние защитных элементов, которое зависит от их конструкции. Эти данные указываются в фирменных каталогах по системам направляющих.

**5.2.2.6.** Все три серии РНК компании INA допускают ускорения при разгоне- торможении кареток до 150 м/с<sup>2</sup>, этого более чем достаточно для любых металлорежущих станков. Наибольшие скорости перемещения кареток для серий KUSE и KUVЕ – 300 м/мин, а для серии КУЕ – 180 м/мин. Температурный диапазон работы всех серий РНК INA составляет от -10 до +100 °С.

**5.2.2.7.** Шумовые характеристики направляющих INA в доступных нам источниках информации не приводятся, сведений о применении гибких сепараторов для уменьшения шума и улучшения условий смазки в каталоге [7] нет.

### **5.2.3. Обеспечение безотказности в работе и длительного сохранения первоначальной точности.**

Для этих целей используются традиционные защитные устройства, специальные покрытия, системы смазки, скребки, различные уплотнители и т.п.

Например, для защиты от стружки на каретках установлены стальные скребки, повторяющие профиль рельса. Предусмотрено несколько вариантов крепления скребков, некоторые могут сочетаться со смазочными адаптерами. Разработана серия скребков с уплотняющей изолирующей перемычкой (одинарной и двойной), более плотно облегающей профиль рельса. Некоторые серии сочетают защиту от стружки и пыли со смазочными устройствами длительного срока действия, смазочными адаптерами для консистентной смазки и смазки маслом. На выбор предлагаются системы различных смазочных плат. Конструкция всех этих устройств, способы их монтажа, таблицы размеров приведены в каталоге [7].

Защита гофрорукавами и стальными лентами в каталоге INA не рекламируется. Смазка РНК может производиться автономно или от центральной системы смазки станка. В каталоге [7] приводятся подробные сведения о составе рекомендуемых смазочных веществ, дозировках смазки, интервалах между смазками, указана периодичность замены смазочных материалов в зависимости от условий эксплуатации станка.

### 5.3. Шариковые рельсовые направляющие ТНК.

Компания ТНК Co. Ltd., Япония, является пионером в разработке и производстве систем направляющих, ШВП, подшипников и многих других устройств и механизмов, построенных с использованием тел качения для линейных перемещений. Одним из классов таких устройств являются рельсовые направляющие качения, включенные в так называемую ТНК LM System под индексом Linear-führungssysteme [3]. В каталоге продукции ТНК описываются 19 конструктивных разновидностей (Bauform) таких систем, каждая из которых содержит множество исполнений разных типоразмеров, и рассмотрение их всех в одной статье не представляется возможным\*. Компания дает рекомендации по областям преимущественного применения для каждой конструкции. Из-за ограниченности объема статьи и ее направленности (главным образом на станкостроение), а также учитывая соображения, изложенные в п. 2.2 ниже будут рассмотрены только пять конструктивных разновидностей РНК серий NR, HSR, HRW, SSR и HRW-Mini. Их назначение и возможности аналогичны РНК компании SBC, ознакомление с продукцией которой является основной темой настоящей статьи.

**5.3.1.** Серия NR охватывает 9 типоразмерных групп – от NR25X до NR100 и включает исполнения с фланцем и с креплением каретки снизу, исполнения узкие с креплением каретки сверху, исполнения с кареткой обычной длины с креплением 4 винтами и с удлиненной кареткой с креплением 6 винтами. Тип дорожек качения у разных направляющих серии различается: в исполнениях NR – в соответствии с рис. 10 а, в модификациях NRS – в соответствии с рис. 10 б. с соответствующими соотношениями базовых нагрузок в разных направлениях (см. табл. 1). Особенностью профилирования дорожек качения в исполнении NR является особо близкое совпадение радиусов кривизны шариков и дорожек качения, благодаря чему при возрастании нагрузок имеет место сочетание трения качения с трением скольжения, повышающее демпфирующую способность направляющих, и прямо связанное с повышенными базовыми статическими нагрузками и высокой жесткостью.

Диапазон размеров кареток: высота – от 25,5 мм до 85 мм; ширина – от 50 мм (с фланцем от 72 мм) до 200 мм (с фланцем до 260 мм); длина – от 83 мм (удлиненные от 102 мм) до 294 мм (удлиненные до 334 мм). Диапазон высот РНК – от 31 мм до 105 мм.

Рельсы обычно крепятся сверху, наибольшая длина от 2500 мм (типоразмер NR25X) до 3000 мм (типоразмер NR100); у типоразмера NR45 – 3090 мм. Диапазон высот рельсов – от 17 мм до 57 мм. Диапазон базовых динамических силовых нагрузок С: у исполнений NRS – от 25,7 кН для типоразмера NR25XR (у удлиненной каретки – 34,3 кН) и до 373,6 кН для типоразмера 100R (у удлиненной каретки – 467,2 кН). Для сравнения, у направляющей SBC модели SBG65SL C=147,98 кН, а у ее аналога, ТНК модели NR65R C=147,4 кН, т. е. они практически одинаковы.

Направляющие типа NR могут поставляться с тремя классами преднатяга (нормальный – без индекса, легкий – С1 и средний – С<sub>0</sub>). Для наименьшего в ряду типоразмера NR25X при среднем преднатяге натяге величины деформации тел качения лежат в пределах 6-9 мкм, для наибольшего размера NR100 – в пределах от 24 до 34 мкм.

Жесткость направляющих типоразмера NR45LR в направлении радиальной нагрузки составляет 2,2 кН/мкм, а при противорадиальной нагрузке – 1,4 кН/мкм (класс преднатяга 0,04 С).

Для защиты РНК этой серии от стружки, пыли, посторонних частиц используются обычные скребки, внутренние и боковые уплотнения; от попадания жидкостей – защитные металлические ленты (обычно из нержавеющей стали). В каталоге продукции [3] приводится описание используемых лент, гофрированных металлических рукавов (сильфонов) и телескопической защиты и способа их монтажа.

\*Подробное рассмотрение всех конструктивных форм РНК ТНК из-за большого объема информации возможно только в отдельной специальной работе.



**5.3.2. Серия HSR** характеризуется расположением дорожек качения по рис. 10 б с практически равными базовыми нагрузками в радиальном, обратном радиальном и тангенциальном направлениях. Этот тип включает 12 исполнений, с базовыми типоразмерами в большинстве случаев от 15 до 85 и тремя особо крупными типоразмерами – 100, 120 и 150. Исполнения отличаются наличием или отсутствием фланцев у кареток, длиной самих кареток, способом крепления нагрузки на каретки, количеством крепежных отверстий (4 или 6, а у особо крупных – 9). Рельсы крепятся либо сверху, либо снизу, используемые марки стали – обычные промышленные, либо нержавеющие.

Диапазон размеров кареток: высота – от 20,5 до 94 мм (у особо крупных до 123 мм), ширина – от 34 (от 47 мм с фланцем) до 156 мм (до 215 мм с фланцем, у особо крупных – до 350 мм), длина – от 56,5 до 303 мм (у особо крупных – до 396 мм).

Наибольшая длина рельсов составляет от 1600 мм (для типоразмера 15) до 3090 мм (у типоразмера 45), диапазон высот рельсов от 15 мм (для типоразмера 15) до 65 мм (у особо крупных – до 85 мм).

Диапазон базовых динамических силовых нагрузок  $C$  составляет от 8,33 кН (для типоразмера 15) до 282 кН (и до 518 кН у особо крупных). Для сравнения, у направляющей SBC модели SBG65SL величина  $C = 147,98$  кН, а у ее аналога, THK модели HSR65A, величина  $C = 141$  кН.

Величины статических моментов у РНК серии HSR лежат в пределах от 0,07 кН·м (типоразмер 15) до 52,3 кН·м (типоразмер 150). Направляющие серии HSR могут поставляться с тремя классами преднатяга – нормальным, легким  $C_1$  и средним  $C_0$ , величины преднатяга (в мкм) для размера 15 лежат в пределах от -4...+2 (нормальный) до -12...-4 ( $C_1$ ), а для размера 150 от -23...+11 (нормальный) до -79...-51 ( $C_0$ ).

Сведений о жесткости исполнений РНК этого типа в каталоге [3] не публикуется.

РНК серии HSR изготавливаются по пяти классам точности: нормальному, Н, Р, SP, и UP; нормируются все параметры, указанные в табл. 3. Величины допусков зависят от размера РНК и класса точности, и приведены в каталоге продукции [3]. Так, например, для класса UP при длине рельса 5000 мм  $\Delta C$  и  $\Delta D$  равны 6 мкм.

Способы защиты от загрязнений, стружки, механических повреждений (скребки, уплотнения, гофрированные рукава, телескопическая защита) аналогичны другим РНК THK.

**5.3.3. Серия HRW** характеризуется широкими рельсами с расположением дорожек качения по типу рис. 10 б с практически равными базовыми нагрузками во всех направлениях. Применяются для особо высоких моментных нагрузках. Торцевые плиты кареток изготовлены из синтетических материалов и обеспечивают малозумную циркуляцию шариков (до 50 дБ при скоростях движения каретки 50 м/мин). В серии HRW два исполнения кареток: CA и CR. Первое характеризуется наличием фланцев с креплением как снизу, так и сверху, второе исполнение – без фланцев, с креплением только сверху.

Исполнение CA включает типоразмеры с 17 по 60 с диапазоном размеров кареток: ширина – от 60 до 200 мм, длина – от 51 до 159 мм, высота – от 14,5 до 53,5 мм; диапазон базовых динамических нагрузок  $C$  – от 4,31 до 63,8 кН; диапазон статических моментов – от 0,03 до 6,1 кН·м.

Исполнение CR включает 5 типоразмеров (от 17 до 50) с диапазоном размеров кареток: ширина – от 50 до 130 мм, длина – от 51 до 141 мм, высота – от 14,5 до 46,6 мм; диапазон базовых динамических нагрузок  $C$  – от 4,32 до 50,2 кН; диапазон статических моментов – от 0,03 до 3,65 кН·м.

Диапазон размеров рельсов: наибольшая длина – от 1000 до 3000 мм, ширина – от 33 до 120 мм, высота – от 9 до 31 мм, в зависимости от типоразмера. Оба исполнения в первых четырех типоразмерах (от HRW17 до HRW35) могут изготавливаться из нержавеющей стали (включая каретку). Крепление рельсов – только сверху, двумя рядами отверстий.

РНК производятся по пяти классам точности (нормальному, Н, Р, SP и UP) и с тремя классами преднатяга (нормальным, С1 и С<sub>0</sub>), величины преднатяга указаны в каталоге производителя [3].

Защитные средства – скребки, уплотнения, телескопические щитки и гофрорукава такие же, как и для ранее рассмотренных типов РНК ТНК.

**5.3.4. Серия SSR** отличается использованием в каретке гибкого сепаратора (см. рис. 11), разделяющего шарики в канале и уменьшающего шум, в особенности при высоких скоростях движения каретки. Сепаратор так же улучшает условия смазки.

Конструктивная схема направляющих с кареткой серии SSR изображена на рис. 32. Серия включает два варианта исполнения каретки: W – нормальной длины, V – укороченная. Исполнение W доступно в пяти типоразмерах – от 15 до 35. Размеры кареток: длина – от 57 до 111 мм, ширина – от 34 до 70 мм, высота – от 19,5 до 36,5 мм. Диапазон базовых динамических нагрузок С – от 9,51 до 41,7 кН. Диапазон статических моментов по серии SSR в каталоге [3] не приводится.

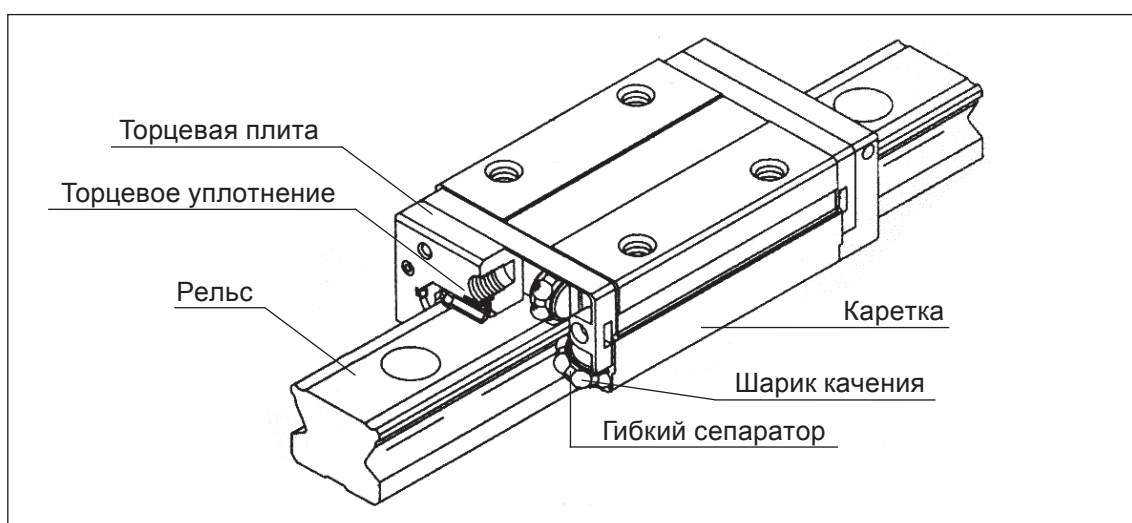


Рис. 32. Конструктивная схема РНК ТНК серии SSR.

Исполнение V доступно в трех типоразмерах – от 15 до 33. Размеры кареток: длина – от 40,4 до 60 мм, ширина – от 34 до 48 мм, высота – от 19,5 до 26,2 мм.

Диапазон базовых динамических нагрузок С – от 5,39 до 11,7 кН.

Диапазон размеров рельсов: от 1000 мм (для типоразмера 15) до 3000 мм (для типоразмера 35). Направляющие с 15 по 30 типоразмер включительно могут целиком изготавливаться из коррозионноустойчивых стальных сплавов.

Благодаря наличию автономных резервуаров на каретке величина пробега без пополнения смазки для направляющих этого типа достигает 40000 км и более. Испытания показали, что для РНК типоразмера SSR20W при скорости перемещений 150 м/мин уровень шума составил 52 дБ вместо 58 дБ у РНК типоразмера SR20W и 62 дБ у РНК типоразмера HSR20R (серии РНК без гибкого сепаратора). Испытания подтвердили высокую стойкость направляющих серии SSR даже при скоростях движения каретки 300 м/мин.

Направляющие серии SSR изготавливаются с двумя классами преднатяга: нормальным (от -4...-2 мкм для SSR15 до -8...+4 для SSR35) и С1 (-10...-4 мкм и -20... -8 мкм соответственно).

Гибкий сепаратор изготавливается из специального синтетического материала, тем не менее, подверженного воздействию отдельных групп смазочных веществ. Некоторые дополнительные требования к защите этого типа направляющих изложены в каталоге [3].

Рассматриваемый тип направляющих производится по обычным для ТНК пяти классам точности.

Приведенные сведения по шумности и износостойчивости еще раз подтверждают целесообразность указанного в п. 4.1. направления улучшения РНК путем применения гибких сепараторов, выбранного компанией SBC.

#### **5.3.5. Серия RSR-Z (миниатюрные направляющие).**

Из нескольких типов миниатюрных РНК компании ТНК эта серия является самой современной. Улучшенная конструкция обеспечивает особенно легкий ход каретки. Исполнения этой серии близки по характеристикам к направляющим серии SMB(S) – миниатюрных РНК компании SBC. Конструктивная схема этого типа направляющих приведена на рис. 33, из которого видно, что этот тип РНК выполнен с двумя дорожками качения. Серия имеет два варианта исполнения по ширине – обычный (индекс ZM) и широкий (индекс WZ). Каждое исполнение имеет четыре типоразмера: 7, 9, 12 и 15.

Диапазоны размеров кареток для исполнений ZM: длина – от 23,4 до 43,0; ширина – от 17 до 32 мм; высота – от 6,5 до 12,6 мм. Для исполнений WZ: длина – от 31,5 до 55,5 мм, ширина – от 25 до 60 мм, высота – от 7 до 12,6 мм.

Диапазоны размеров рельсов для исполнения ZM: ширина – от 7 до 15 мм, высота – от 4,7 до 9,5 мм. Для исполнения WZ: ширина – от 14 до 42 мм, высота – от 5,2 до 9,5 мм. Наибольшая длина рельсов в каталоге [3] не оговорена.

Диапазоны базовой динамической нагрузки для исполнения ZM – от 0,88 до 4,41 кН; для исполнения WZ – от 1,37 до 6,66 кН.

Диапазоны наибольших статических моментов: от 30,2 Н•м для исполнения ZM до 137 Н•м для исполнения WZ.

Направляющие изготавливаются с двумя классами преднатяга: нормальным и С1. Для типоразмера 7 нормальный преднатяг равен  $\pm 2$  мкм, С1 равен 10...0 мкм.

Направляющие серии делятся на 3 класса по точности исполнения: нормальные, высокоточные (Н) и прецизионные (Р), с соотношением допусков 1:2:4. Таблица и график по каждому из параметров точности (по рис. 7) приведены в каталоге продукции [3].

Направляющие серии могут изготавливаться целиком из коррозиестойчивой стали. Уровень шума для РНК серии RSR12 на скорости 100 м/мин – всего 43 дБ. Методы защиты – обычные для РНК ТНК.

Сопоставляя сведения о приведенных пяти конструктивных формах РНК производства ТНК, по назначению и возможностям в значительной мере близким соответствующим сериям РНК SBC, можно сделать заключение, что в ряде случаев направляющие SBC по диапазону типоразмеров и своим техническим параметрам как минимум не хуже некоторых серий и исполнений РНК ТНК. Основные отличия продукции двух производителей: отсутствие у РНК SBC исполнений высоких классов точности (SP и UP), исполнений с повышенными нагрузочными характеристиками, исполнений с расположением дорожек качения по типу рис. 10 а, и исполнений с повышенной жесткостью.

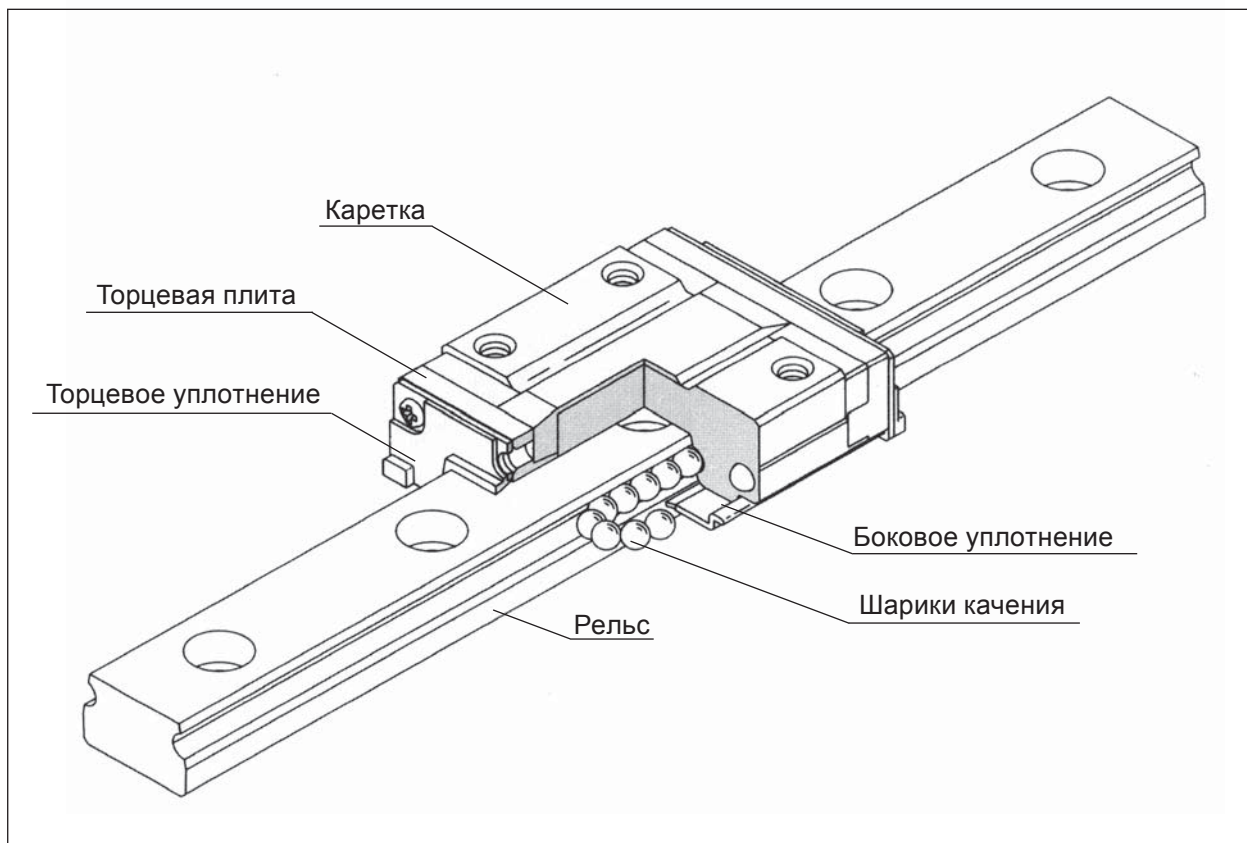


Рис. 33. Конструктивная схема РНК THK серии RSR-Z.

## Заключение

Более чем полувековой процесс усовершенствования конструкции направляющих качения на прецизионных обрабатывающих станках привел к появлению нового класса – рельсовых направляющих качения (РНК), которые в настоящее время стали основным типом направляющих в машиностроении. Системы рельсовых направляющих стали стандартным компонентом сложного технологического оборудования – машин, станков, обрабатывающих центров с ЧПУ и т.д., а области их применения перекрывают практически все отрасли индустрии – от машиностроения и металлообработки до пищевой и полиграфической промышленности.

Рельсовые, V-образные роликовые и цилиндрические линейные направляющие используются в автоматизированных сборочных и обрабатывающих системах, входят в состав медицинского и точного лабораторного оборудования, научных приборов и установок. Для модернизации оборудования сегодня все чаще применяются рельсовые направляющие качения, при этом радикально меняются скоростные и точностные характеристики машин и механизмов.

В России в настоящее время представлена продукция всех основных мировых производителей рельсовых направляющих и систем на их основе, как американских и европейских, так и азиатских. Определиться с производителем, маркой и серией направляющих и с поставщиком (импортером) бывает достаточно сложно, ведь помимо качества и соответствия техническим характеристикам важными критериями выбора являются сроки и условия поставки, условия сервисного и гарантийного обслуживания, стоимость изделий.

В настоящей работе мы впервые провели обзор продукции различных производителей, рассмотрели основные серии выпускаемых РНК ведущих компаний, их особенности и базовые технические характеристики. На основе сравнительного анализа по ряду показателей были выявлены наиболее характерные отличительные черты продукции каждого производителя, определены наиболее эффективные области их использования, предложены рекомендации по применению.

В качестве приложения предлагается краткое описание компаний-производителей РНК, характер их присутствия на российском рынке и конкурентные преимущества.

Надеемся, что данная информация поможет российским машиностроительным предприятиям выбрать наиболее подходящего партнера и получить максимальный экономический эффект от сотрудничества в области обеспечения точных линейных перемещений с использованием современных РНК.

### Компании-производители рельсовых направляющих качения

#### ТНК

Японская компания ТНК – владелец патента на изобретение рельсовых направляющих качения (в числе сотен других) и один из мировых лидеров в НИОКР и производстве техники линейных перемещений. ТНК имеет огромный опыт разработки инновационных продуктов и технологий и пользуется заслуженным авторитетом в инженерном сообществе.

Качество и надежность продукции ТНК проверена временем (компания существует с 1971 года). Этой марке доверяют сотни и тысячи клиентов из разных отраслей машиностроения по всему миру. В настоящее время компания представлена во всех индустриально развитых странах: у ТНК более 20 представительств и около 150 официальных партнеров и дистрибьюторов.

Единственный недостаток продукции ТНК – высокая цена. Продукцию ТНК можно отнести к ценовому сегменту Premium, она превосходит цену аналогичной продукции других производителей примерно на 40-60%.

Продукцией ТНК в России торгует несколько компаний, официальный дистрибьютор один. ТНК не имеет склада в России, поставки осуществляются под заказ из Германии или Японии (в зависимости от номенклатуры продукции), сроки поставки – от 6 до 12 недель.

## **Bosch Rexroth**

Подразделение концерна Bosch-Siemens, компания Bosch Rexroth является европейским лидером по производству рельсовых и цилиндрических направляющих и мехатронных систем на их основе (линейных осей, линейных модулей, многокоординатных систем и др.), известных под торговой маркой Rexroth Star. Продукцию Bosch Rexroth отличает широкий модельный ряд и традиционно высокое немецкое качество.

Производство Bosch Rexroth находится преимущественно в Европе, поэтому продукция компании достаточно дорогая, она относится к ценовому сегменту Premium. Поставки осуществляются со склада Bosch Rexroth в Германии, где расположены основные производственные мощности концерна, или напрямую с других европейских предприятий концерна. Сроки доставки составляют в среднем от 4 до 8 недель. Возможно размещения нестандартных заказов по предварительной договоренности с компанией-изготовителем.

В России работает представительство и дочернее предприятие компании в форме российского юридического лица. Ремонт и сервисное обслуживание производится силами сервисного подразделения Bosch-Siemens в России, предприятием-изготовителем или сервисным центром Bosch Rexroth в Германии.

## **INA (Schaeffler Group)**

Компания INA (входит в состав машиностроительной корпорации Schaeffler Group, Германия) по ассортименту рельсовых направляющих качества практически не уступает ТНК и Bosch Rexroth. INA выпускает несколько общепромышленных серий направляющих, специализируется в основном на высокоточной продукции для тяжелых металлорежущих и средних обрабатывающих станков.

Направляющие INA дешевле продукции ТНК и Bosch Rexroth приблизительно на 15-20% и относятся к верхнему ценовому сегменту.

В России больше известна другая продукция INA – подшипники (в т.ч. керамические и игольчатые), приводы клапанов, шкивы и другие компоненты для легковых и грузовых автомобилей. В России продажи направляющих INA идут через нескольких официальных дистрибьюторов. Это преимущественно компании, торгующие подшипниками и другими запасными частями для автомобилей.

Поставки продукции осуществляются преимущественно из Германии. Сроки поставки – от 4 до 8 недель.

В России также представлена продукция других европейских производителей – NSK, Schneeberger, SKF, Thomson и других, однако по ряду причин она не получила широкого распространения. Дистрибуция этих торговых марок не развивается, маркетинговая поддержка не обеспечивается. Для ряда компаний, предлагающих продукцию перечисленных торговых марок, она, по-видимому, не является приоритетной и включается в продуктовые портфели скорее для ассортимента. Особенно это заметно по описаниям указанной продукции на веб-сайтах продавцов – зачастую информация не обновляется годами. Стоимость направляющих одних и тех же серий одного и того же производителя у таких компаний может отличаться в разы, что также свидетельствует о случайном и несистемном характере их присутствия на российском рынке машиностроения.

## Азиатские производители

С конца 70-х годов прошлого века предприятия по выпуску РНК и других компонентов техники линейных перемещений начали открываться в странах Юго-Восточной Азии, преимущественно в Южной Корее, Малайзии, Китае и на Тайване. Первоначально азиатские производители ориентировались на продукцию европейских и американских компаний, и перенимали технологии производства, разработанные в Японии и Германии. Зачастую просто копировались разработки ТНК, Rexroth, Thomson, при этом вопросы патентов на изобретения, соблюдения прав на интеллектуальную собственность игнорировались или обходились, поскольку продукция предназначалась в первую очередь для внутренних рынков.

С развитием международной торговли и постепенным снятием таможенных барьеров, в том числе благодаря усилиям ВТО и региональных торговых ассоциаций, ситуация с соблюдением норм права нормализовалась. У азиатских производителей появились собственные оригинальные разработки, которые были успешно выведены на мировой рынок. Сегодня продукция компаний из Юго-Восточной Азии занимает существенную долю не только азиатского, но и европейского и североамериканского рынка, а отдельные серии высококачественных направляющих и ШВП пользуются спросом даже в Германии – в первую очередь благодаря экономичным ценам и «европейскому» уровню исполнения.

Продукция азиатских компаний относится к среднему ценовому сегменту, при этом по соотношению цена/качество зачастую превосходит германские и японские аналоги. Этот фактор может быть решающим при выборе поставщика для российских машиностроительных предприятий, из-за изношенности машинного парка вынужденных регулярно инвестировать в модернизацию производства,

### Hiwin

Международная многопрофильная машиностроительная компания Hiwin (Hiwin Corporation) со штаб-квартирой на Тайване – один из самых ярких представителей нового поколения азиатских производителей. Широкий модельный ряд выпускаемых систем и комплектующих, ставка на новейшие технологии, высокое качество, обеспечиваемое полностью автоматизированным производством, и агрессивная ценовая политика позволили молодой компании достаточно быстро завоевать азиатский рынок и значительную долю мирового. Например, в Японии Hiwin уверенно держит второе место после ТНК по продажам направляющих (данные за первое полугодие 2006 года). Продукцию Hiwin уже использует ряд ведущих европейских производителей «с именем» для комплектации серийно выпускаемых станков и другого промышленного оборудования.

В Россию Hiwin поставляется из Германии, где расположен крупнейший европейский склад компании и вспомогательное производство. Сроки поставки – от 2 до 6 недель.

### SBC

Южнокорейская компания SB Linear Co., Ltd. (SBC) уверенно занимает лидирующее положение на азиатском рынке комплектующих для машиностроения, и по ряду позиций делит 1-2 места с компанией Hiwin. Таких высоких результатов SBC удалось достичь благодаря европейским, в первую очередь, немецким технологиям производства и жесткой системе контроля качества (компания привлекает иностранных специалистов, приобрела ряд технологий, позволяющих повысить производительность труда и значительно улучшить технические характеристики выпускаемых изделий). По ряду показателей продукция SBC не уступает и даже превосходит аналогичную продукцию более именитых европейских марок, при этом она существенно выигрывает в цене.

SBC выпускает 9 серий рельсовых направляющих качения, цилиндрические линейные направляющие и линейные подшипники, системы роликовых направляющих, позиционирующие столы и грузовые платформы, шариковые винтовые передачи, линейные модули.

В России SBC представляет официальный партнер ЗАО «Сервотехника». Поставка продукции осуществляется со склада в Москве или напрямую из Южной Кореи. В случае необходимости возможна экспресс-доставка (в течение 10 рабочих дней).

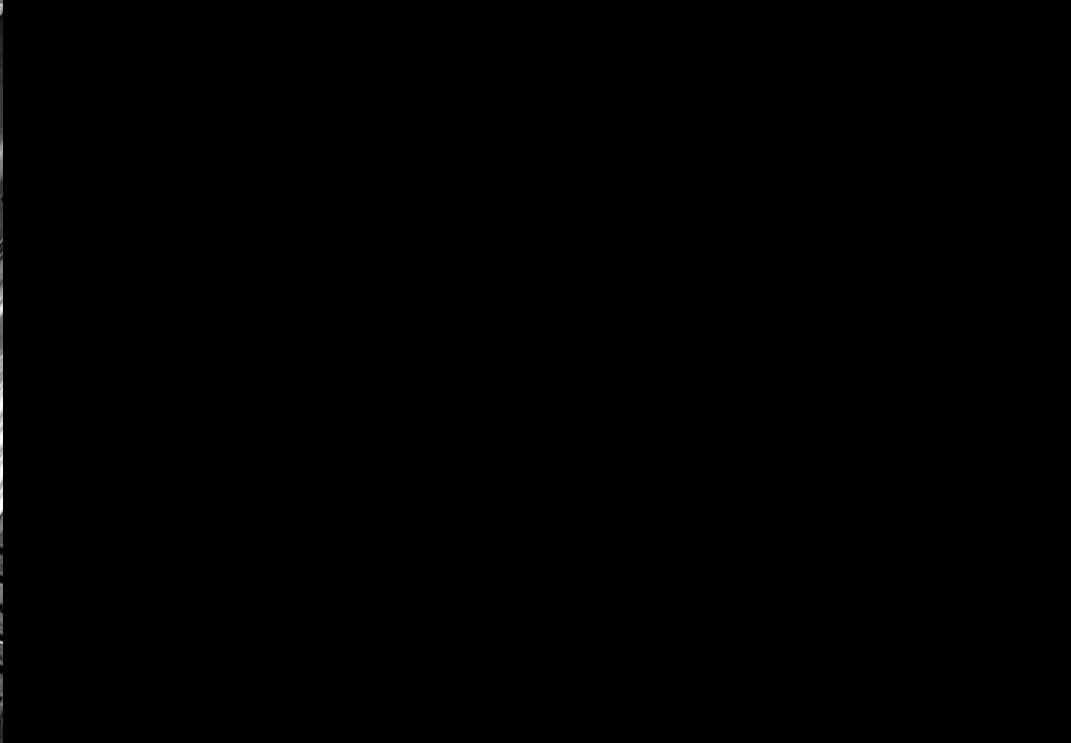
### **Другие производители**

В последние 2 года в России на отраслевых выставках была замечена продукция китайских производителей – направляющие, ШВП и другие компоненты систем линейных перемещений, однако сделать какие-либо выводы об их качестве и перспективах на нашем рынке пока не представляется возможным в связи с отсутствием информации о серийных поставках или результатах испытаний в условиях реального производства.



## Список использованной литературы

1. М. Я. Кашепава. Современные координатно-расточные станки. Машгиз, М., 1961 год..... 5
2. ОАО «Липецкий станкостроительный завод», Линейные направляющие качения. Модель СМ, МС. Руководство по эксплуатации 2-29849377-РЭ. Липецк..... 12
3. THK LM SYSTEM. Linearführungssysteme THK Co., Ltd. Tokyo, Japan. Katalog № 200-2G ..... 15
4. Linear Rail System. Total Linear Motion Solution. SBC Linear Co., Ltd. (2004)..... 15
5. SBC Linear Co., Ltd. Total Linear Motion Solution. The new products guide ..... 27
  - 1) Spacer type (noiseless type).
  - 2) Tight Contact Seal.
  - 3) Self Lubricant Tank.
6. Rexroth. Шариковые направляющие STAR. RRS82201/2000-10 ..... 36
7. Monorail guidance systems, linear recirculating roller and ball guidance systems, special accessories. INA. Catalogue 605 ..... 42



Обзорное исследование «Рельсовые направляющие качения»  
подготовлено к выпуску при участии ОАО «ЭНИМС» и ЗАО «Сервотехника»

© 2006 «Сервотехника» ЗАО  
125130, г. Москва, ул. Выборгская, д. 22  
Тел.: (495) 797-8866, факс: (495) 450-0043  
info@servotechnica.ru  
www.servotechnica.ru

