

Список літератури: 1. Реклейтис Г. Оптимизация в технике: Пер. с англ./ Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсел – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 349с. 2. Дымищ И.И. Коробки передач / И.И. Дымищ – М.: Машгиз, 1960. – 360с. 3. Бондаренко А.В. Оптимизация трехвальных коробок передач по критерию минимального межосевого расстояния / А. Бондаренко, А. Устиненко // Вісник НТУ „ХПІ”: Тем. вип. „Проблеми механічного приводу”. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2008. – №28. – С.110–115. 4. Бондаренко О.В. Критерії та шляхи оптимізації тривальних коробок передач / О. Бондаренко, О. Устиненко // Вісник НТУ „ХПІ”: Тем. вип. „Машинознавство та САПР”. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2009. – №19. – С.14–18. 5. Расчет и проектирование зубчатых редукторов: Справочник / В.Н. Кудрявцев, И.С. Кузьмин, А.Л. Филипенков; Под общ. ред. В.Н. Кудрявцева. – СПб.: Политехника, 1993. – 448с. 6. Иосилевич Г.Б. Детали машин / Г.Б. Иосилевич – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.

Поступила в редколлегию 02.02.10

УДК 621.822.6(088.8)

В.С. ГАПОНОВ, д.т.н., проф., зав. каф. „Детали машин и прикладная механика”, **А.В. ГАЙДАМАКА**, к.т.н., проф., проф. каф. „Детали машин и прикладная механика”, **Е.Ю. ГЛАДЫЩЕВА**, асп. каф. „Детали машин и прикладная механика”, НТУ „ХПИ”

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСАМ КОНСТРУКТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

У статті проведений аналіз конструкцій і функціональних можливостей пружних опор підшипників кочення високошвидкісних роторних систем. Запропонована спрощена класифікація відомих пружних опор. Вибраний напрям підвищення точності роботи систем за умови забезпечення необхідного ресурсу.

In article the analysis of designs and functionality of elastic support of bearings for work high-speed rotor system is carried out. The simplified classification of known elastic support is offered. The direction of increase of accuracy of work of systems under condition of maintenance of a demanded resource is chosen.

Анализ публикаций. Анализ литературных источников, посвященных конструктивному обеспечению динамической жесткости роторной системы без снижения ее статической жесткости (несущей способности в статике), показал их ограниченность габаритами опорных узлов ротора и, следовательно, актуальность разработки соответствующих конструкций опор для подшипников роторных систем.

Цель исследования: оптимальное проектирование конструкций пассивных упругих опор для устранения противоречия между статической и динамической жесткостями высокоскоростной роторной системы.

Основная часть. Упрощенная классификация известных упругих опор роторных систем [1-23, 24, 26] изображена на рис. 1. К упругим опорам с нерегулируемой жесткостью, имеющим одну упругую деталь, относятся опоры [1-4]. В опорах [1, 2] упругий элемент выполнен в виде кольца с радиальными

выступами. Благодаря этим выступам упругое кольцо при работе деформируется, и создается однородное упругое восстанавливающее поле, в котором ротор получает возможность самоцентрироваться в зоне рабочих скоростей. В опоре [3] с целью повышения надежности демпфирования вала при наличии радиального возмущающего усилия, втулка выполнена по внутренней и наружной поверхностям овальной формы и установлена в корпусе так, что ось минимальной жесткости совпадает с направлением силы нагружения. Опора [4] состоит из двух жестких частей, связанных между собой упругими элементами, образуемыми сквозными пазами. Конец каждого паза соединен с началом другого, расположенного на соседнем концентричном ряду.

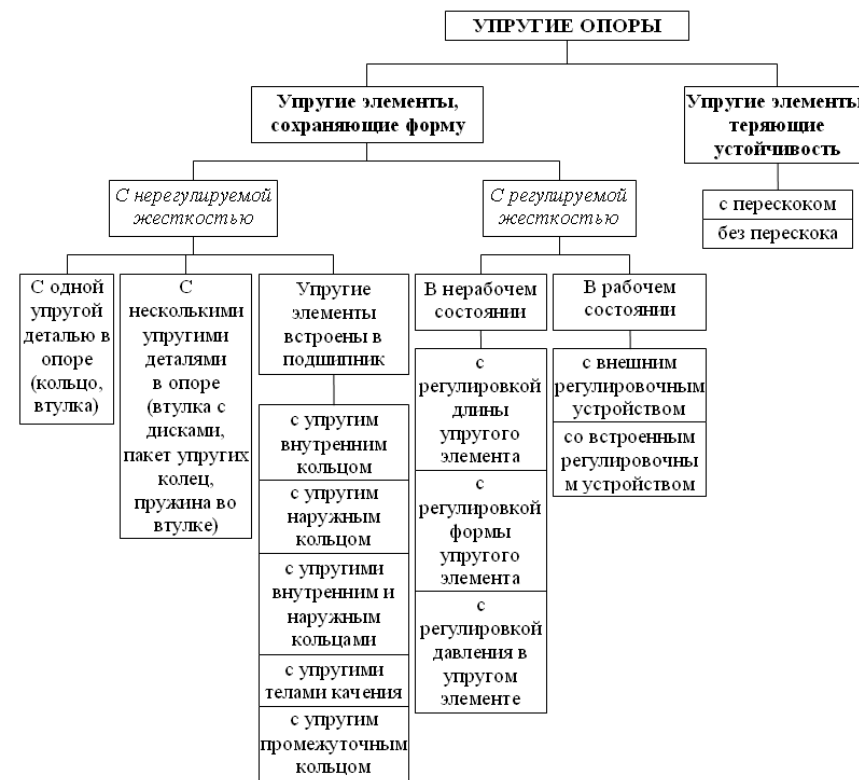


Рис. 1. Схематическое представление наиболее распространенных конструктивных решений для упругих опор подшипников качения

К упругим опорам с нерегулируемой жесткостью, имеющим несколько упругих деталей, относятся опоры [5-7]. За счет наличия пазов во втулке и выступов в торцевых дисках в опоре [5] обеспечиваются конструктивное демпфирование и ограничение максимальных амплитуд вибраций ротора. Опора [6] содержит смонтированный в корпусе между его внутренней по-

верхностью и наружной обоймой подшипника упругий элемент, выполненный в виде втулки с армирующей пружиной. Опора [7] состоит из жестко связанных между собой в осевом направлении кольцевых пластин с упругими элементами, повернутыми на определенный угол.

К упругим опорам с нерегулируемой жесткостью и с встроенными в подшипник упругими деталями относятся опоры [8-13]. В трехколенном подшипнике [8] сепаратор выполнен общим для обоих рядов тел качения, размещенных в шахматном порядке, а упругим элементом является промежуточное кольцо. Внутреннее упругое кольцо подшипников [9, 10] выполнено цельным и состоит минимум из пяти последовательно расположенных кольцевых участков, соединенных перемычками и размещенных в шахматном порядке. В подшипнике [11] наружное упругое кольцо выполнено по меньшей мере из трех концентричных колец различной жесткости, установленных с зазором. Подшипник [12] содержит W-образные наружное и внутреннее упругие кольца: каждое с центральным и двумя боковыми желобами. Подшипник [13] снабжен демпфирующими элементами внутри роликов и упругими ограничителями прогиба.

К упругим опорам с регулировкой жесткости в нерабочем состоянии относятся опоры [14-18]. Опора [14] снабжена установленным соосно с упругой втулкой кольцом с закрепленными на нем стержнями. Стержни установлены в соответствующие ответные пазы во втулке, что позволяет регулировать длину упругих элементов. Опора [15] позволяет изменять длину упругого элемента за счет перемещения промежуточной втулки вдоль оси наружной и фиксации ее в необходимом положении. В опоре [16] наружная поверхность упругого элемента выполнена резьбовой, а сама опора снабжена гайкой, смонтированной на упругом элементе, что позволяет регулировать длину упругого элемента. Втулка опоры [17] выполнена по наружной поверхности с резьбой и снабжена гайкой для устранения зазоров, появляющихся при износе упругого элемента. Опора [18] снабжена регулировочным устройством, которое позволяет менять жесткостные характеристики за счет изменения давления в камере, заполненной текучей средой.

К упругим опорам с регулировкой жесткости в рабочем состоянии относятся опоры [19-22]. Опора [19] содержит устройство для регулирования жесткости, соединенное с упругим элементом, и механизм перемещения. Устройство для регулирования жесткости выполнено в виде, по меньшей мере, одной группы подвижных штифтов, а механизм перемещения – в виде двухпозиционного механического привода. Упругие элементы опоры [20] выполнены в виде пластин с расположенными между ними пневмобаллонами, жесткость в которых регулируется с помощью источника газа. Опора [21], соединенная с приводным механизмом, обеспечивает жесткую связь между вкладышем и корпусом в момент пуска и выбега ротора. Опора [22] использует в качестве упругого элемента пакет упругих колец, расположенный между подвижными и неподвижными корпусами с радиальными выступами ступенчатого профиля.

Регулировать жесткость упругих опор в нерабочем состоянии можно: за счет изменения длины упругого элемента в опорах [14, 15, 16]; за счет изме-

нения формы упругого элемента в опоре [17]; за счет изменения давления в кольцевой камере, заполненной текучей средой в опоре [18].

Регулировать жесткость упругих опор в рабочем состоянии можно: за счет наличия внешнего регулировочного устройства в опорах [19, 20, 21]; за счет встроенного регулировочного устройства в опоре [22].

Опоры с упругими элементами, сохраняющими форму устойчивости, недостаточно эффективно решают проблему снижения виброактивности, так как не способны мгновенно и в необходимых пределах изменять жесткость при переходе скоростей вращения через резонанс.

Для уменьшения собственной частоты системы „ротор – подшипники – корпус узла” эффективнее использовать упругие опоры с элементами квазиулевой жесткости [23]. Упругие системы с квазиулевой жесткостью широко применяются в виброизмерительных приборах для подвески чувствительных элементов, технических и биологических объектов, в ручных машинах, в креслах операторов транспортных средств и т. п. Одним из видов упругих опор с квазиулевой жесткостью являются опоры с потерей устойчивости. Такие опоры характеризуются внезапным переходом системы из одного равновесного состояния в другое, также равновесное, но не смежное с первым (потеря устойчивости вида перескок). Упругими элементами таких опор могут быть пружины, мембраны, желобчатые полосы и другие конструктивные решения.

В упругой опоре [24] подшипников роторных систем упругим элементом является мембрана. В момент перехода роторной системы через резонанс под действием резко возрастающей нагрузки на опору происходит „прощелкивание”, и мембрана принимает новую форму равновесия. Для выбранных геометрических параметров мембраны ($1,5h < H < 3,4h$, h – толщина мембраны, H – стрела подъема [25]) после ее защелкивания осуществляется разгрузка, а ее упругая характеристика после этого определяется геометрией мембраны (см. рис. 2, где P – параметр нагрузки, v – перемещение).

В техническом решении [26] в корпусе шпинделя под подшипниками устанавливаются упругий элемент с предварительным поджатием и демпфирующий элемент. Для такой конструкции корпуса шпинделя сохраняется основное требование изготовления, а именно требование расточки корпуса с одной установки так, чтобы сила резания не превышала силы предварительной деформации упругого элемента. Тогда в дорезонансном режиме работы шпинделя местные деформации корпуса под опорами отсутствуют, а с переходом шпинделя через критические частоты вращения включаются в работу смонтированный в корпус шпинделя упругий и демпфирующий элементы.

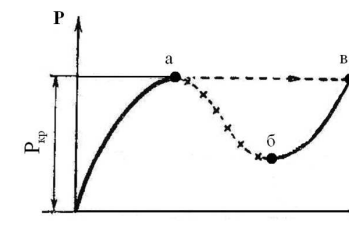


Рис. 2. Характеристика мембраны с формами равновесия: а – исходная устойчивая, б – неустойчивая, в – устойчивая несмежная с исходной