

УДК 621.891

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ ДЕМПФЕРОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

© 2011 Ю.Н. Дроздов¹, В.А. Надеин², В.Н. Пучков¹

¹ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

² ООО НГБ «Энергодиагностика», Москва, Россия

Поступила в редакцию 10.11.2011

Впервые в мировой науке и практике создаются научные основы проектирования опор скольжения, самосмазывающихся, самоустанавливающихся, с реверсивным движением, применяющихся в качестве сейсмоизоляторов для мостов, промышленных и гражданских сооружений, а также для нефтегазовых морских платформ, превосходящих по своей несущей и демфирующей способности известные ранее опоры. Разработан оригинальный экспериментально - расчетный метод определения срока службы фрикционного маятникового подшипника скольжения-сейсмоизолятора с использованием зависимостей для определения скорости изнашивания, представленных в обобщенных переменных, а также метод оценки коэффициента трения фрикционных маятниковых подшипников. Рассмотрены перспективы получения отечественного антифрикционного самосмазывающегося покрытия с заданными трибологическими свойствами и современное состояние проблемы. Основой для этих исследований являются известные разработки в области трибологического материаловедения с учетом современных достижений нанотрибологии. Рассмотрены наиболее перспективные термостойкие полимеры и наполнители, а также получаемые на их основе комбинированные смесевые антифрикционные ткани.

Ключевые слова: фрикционные маятниковые подшипники (ФМП), трибологические характеристики, демпфирование сейсмических воздействий. коэффициенты трения, износ, ресурс, расчеты; самосмазывающиеся композиционные материалы

Свойства маятниковых опор были предметом пристального внимания выдающихся ученых Н.Е. Жуковского, Д.И. Менделеева, Н.И. Мерцалова и ряда ученых-трибологов XX века. В этих работах были заложены основы теории маятниковых опор и продемонстрировано прикладное значение фрикционного маятника, поглощающего механическую энергию за счет сил трения. Впоследствии маятниковые опоры нашли применение в точных приборах для измерения поверхностной энергии, твердости материалов и ускорения свободного падения [1]. Реальная возможность применения маятниковых опор скольжения как эффективного средства для поглощения энергии внешних силовых воздействий появилась в последние 30-40 лет, благодаря развитию новых технологий (в особенности в связи с развитием космических исследований в СССР и США) и появлению новых триботехнических материалов [2, 3].

Первоначально при строительстве мостов, зданий и других сооружений с целью компенсации механических, тепловых и сейсмических воздействий в период их эксплуатации предпринимались попытки применения простых самосмазывающихся (не-

маятниковых) опор скольжения [3]. За период с 1968 года по 1984 год в СССР, США, Великобритании, Германии, Франции и Японии было опубликовано более 40 авторских свидетельств и патентов, в которых описаны самосмазывающиеся подшипники скольжения с антифрикционными волокнистыми материалами в качестве вкладыша, находившие применение в строительстве крупных промышленных сооружений.

Оказалось однако, что обычные (немаятниковые) опоры скольжения целесообразно применять только при незначительных сейсмических воздействиях, так как они не обладают в необходимой мере способностью поглощать энергию сейсмических толчков и не обеспечивают эффективное гашение колебаний конструкции при землетрясениях. Поэтому при создании сейсмостойких сооружений для сейсмической изоляции находили применение демпферы иного типа: эластомерные, гидравлические, и комбинированные демпферы (с разрушающимися конструктивными элементами). В 1987 году появилось первое описание фрикционного маятникового подшипника скольжения, заявленного в качестве нового средства сейсмической изоляции крупных сооружений [4].

Фрикционные маятниковые подшипники (ФМП) являются сейсмическими демпферами, которые устанавливаются между конструкцией и ее основанием для защиты поддерживаемой конструкции от повреждения в результате землетрясения.

Схематическое изображение подшипника представлено на рис. 1. Плита со сферической вогнутой поверхностью установлена наверху из соображений

Дроздов Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. отделом «трение, износ, смазка, трибология». E-mail: drozdov@imash.ac.ru.

Надеин Владимир Александрович, генеральный директор - президент ООО НГБ – Энергодиагностика, г.Москва. E-mail: Vladimir.Nadein@ogsed.ru.

Пучков Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией исследования износа при граничной смазке. E-mail: puchkov.v.n@bk.ru.

удобства в эксплуатации. При таком расположении вогнутой плиты загрязнения не имеют прямого доступа к поверхности скольжения.

Принцип действия маятникового подшипника скольжения продемонстрирован на рис. 2. Шарнирный ползун совершает колебания относительно центра сферической вогнутой поверхности, радиус ко-

торой R , играет роль длины маятника, поэтому формула для определения периода колебаний ФМП приобретает вид:

$$T=2\pi\sqrt{R/g}, \quad (1)$$

где R -радиус сферической вогнутой поверхности; g -ускорение свободного падения.

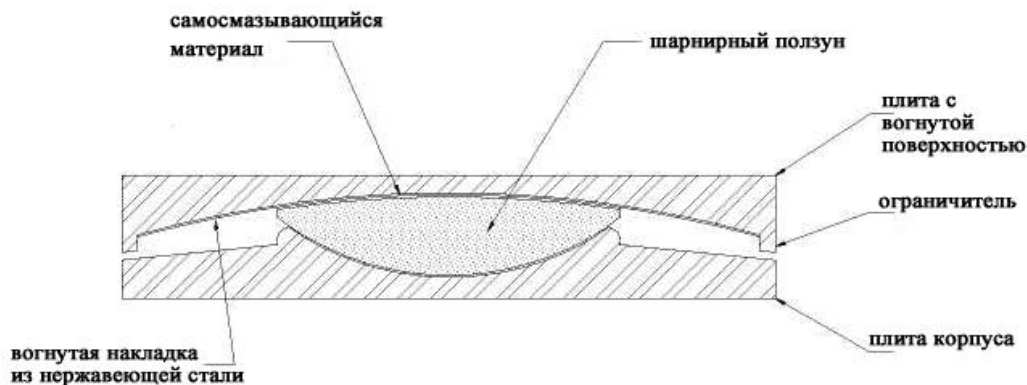


Рис. 1. Схема устройства подшипника.

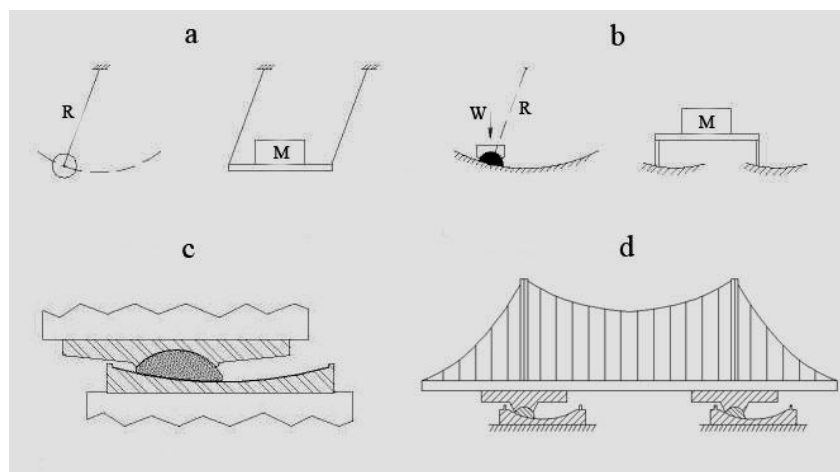


Рис. 2. Принцип действия маятникового подшипника скольжения: а) переход от одноточечного закрепления маятника к двухточечному; б) маятниковые колебания сферического ползуна в сферической выемке; в) схема конструкции маятникового подшипника; д) применение маятниковых подшипников в опорах моста.

Период колебаний подшипника, вертикальную нагрузочную способность, демпфирование, способность к смещению и способность воспринимать растягивающую нагрузку можно задавать в широком диапазоне. Могут быть обеспечены динамические периоды колебаний от 1 до 5 с и смещения до 1,5 м. Динамическое трение может составлять от 3% до 20%. Эффективное демпфирование может находиться в пределах от 10% до 40%. Отдельные подшипники могут поддерживать вертикальную нагрузку до 13,5 тыс.т.

Универсальные свойства ФМП позволяют оптимизировать конструкцию подшипника для сейсмической изоляции с целью получения наилучших рабочих характеристик и минимальной стоимости конструкции подшипника.

Полусферическая конструкция шарнирного ползуна позволяет получить относительно однородное распределение давлений под шарнирным ползуном, которое снижает прерывистое движение и предотвращает возникновение высокого локального давления в подшипнике.

В настоящее время фрикционные маятниковые подшипники скольжения (ФМП) довольно широко используются при строительстве сооружений в сейсмоактивных зонах Америки и Японии в качестве демпферов (изоляторов) для защиты поддерживаемой конструкции от повреждений, возникающих в результате землетрясений, а также от силовых воздействий иного рода (ветер, тепловые деформации, ледовые и волновые нагрузки) [5,6].

Впервые в мировой практике для обеспечения сейсмической изоляции между бетонным гравитационным основанием морской платформы и верхними сооружениями Проекта «Сахалин-2» установлены фрикционные маятниковые опоры скольжения (ФМП). Такие подшипники, применявшиеся ранее при строительстве автострад, мостов и аэропортов, никогда ранее не использовались на морских платформах. Четыре подшипника – сейсмоизолятора, установленные на верхних площадках четырех бетонных опор, гасят экстремальные горизонтальные нагрузки, изолируя верхние строения от наиболее разрушительных толчков, а также, снижая нагрузки на верхние строения от действия суточных и сезонных изменений температуры, давления льда, волн и ветра.

Поскольку вызванные землетрясением смещения возникают первоначально в подшипниках-сейсмоизоляторах, боковые нагрузки и колебательные движения, передаваемые на конструкцию, существенно понижаются. В табл. 1 представлены максимальные средние ускорения, которые испытывают элементы нефтегазовой платформы Лун-А в условиях Проектного землетрясения при использовании фрикционных маятниковых подшипников и без них. Когда боковая сила, возникающая при горизонтальном движении основания, превышает пороговый уровень силы трения покоя, поддерживаемая конструкция, установленная на верхних плитах подшипников, перемещается в боковом направлении относительно плиты корпуса. Поддерживаемая конструкция удерживается шарнирным ползуном.

Таблица 1. Максимальные средние ускорения элементов нефтегазовой платформы при использовании маятниковых подшипников и без них [6]

Элемент платформы	С ФМП, g	Жесткая (без ФМП), g
Палуба	0,24	0,73
Палуба, уровень (+)27 м	0,31	0,65
Палуба, уровень (+)38 м	0,25	0,74
Палуба, уровень (+)47 м	0,31	0,84
Факельная установка	2,00	4,37
Буровой модуль	0,61	1,22
Кран на северной стороне	0,82	1,74
Кран на южной стороне	1,46	2,27

Большие несущие поверхности ползуна и выпуклая поверхность скольжения ползуна позволяют устройству воспринимать высокие конструкционные нагрузки. Особенно важно, что шарнирный ползун по своей природе устойчив. Для любых комбинаций вертикального и бокового усилий результирующий вектор сил от действия конструкционных нагрузок направлен по нормали к поверхности ползуна и проходит через точку поворота ползуна. Какая бы весовая нагрузка не действовала на

шарнирный ползун, результирующий вектор должен быть направлен вниз и не может вызывать опрокидывания шарнирного ползуна. Сила трения, которая действует по касательной к поверхности ползуна, также действует как восстанавливающая, направленная против опрокидывающего вращения шарнирного ползуна.

Кроме того, поскольку результирующая сила действует, проходя через точку поворота ползуна, которая является также центром выпуклой поверхности скольжения шарнирного ползуна, результирующее нормальное давление, действующее на выпуклую поверхность скольжения ползуна, имеет однородное распределение [4].

Это особенно полезно, так как позволяет избежать смятия между поверхностным слоем и вогнутой поверхностью скольжения, а также понизить напряжения и износ фрикционного промежуточного слоя.

Разработка нефтяных и газовых месторождений, как правило, осуществляется в сейсмически активных районах (их активность достигает 8 – 9 баллов по 9-балльной шкале) и это одна из главных трудностей, которую необходимо преодолевать в ходе реализации таких разработок.

Морские платформы «Лун – А» и «ПА-Б» проекта «Сахалин-2» установлены на шельфе острова Сахалин в 2007 году. Их конструкции должны без повреждений и отказов оборудования выдерживать нагрузки, возникающие при землетрясениях с вероятной повторяемостью один раз в 200 лет, а также оставаться без серьезных повреждений при таком очень редком землетрясении, которое может произойти раз в 3 тысячи лет. Вес гравитационного основания составляет для платформы «Лун – А» 103 тысячи тонн, для платформы «ПА-Б» - 106 тысяч тонн. Вес верхнего строения «Лун – А» составляет 28 тысяч тонн, «ПА-Б» - 34 тысячи тонн. Срок службы морских платформ «Лун – А» и «ПА-Б» - 30 лет. Для оценки ожидаемого числа циклов или времени работы до отказа ФМП по критерию износа антифрикционного покрытия, нанесенного на ползун и сферическую поверхность нижней плиты, используются выражения, в которые входят: линейная интенсивность изнашивания, допустимая величина износа, средний диаметр сферы, амплитуда и частота качания [7-9]. Ресурс работы ШСП, определяется по формулам [7, 9]

$$T = \frac{0,398 \bar{I}_h^-}{\bar{I}_h R_1 \beta v} 10^{-2}, N = \frac{14,327 \bar{I}_v^-}{\bar{I}_h R_1 \beta}$$

где \bar{I}_h - средняя безразмерная интенсивность изнашивания, \bar{I}_v^- - допустимый износ, величина T имеет размерность (ч), а N есть число циклов качания.

Математическая модель, характеризующая процесс изнашивания вкладыша, формулируется с использованием методов теории подобия и анализа размерностей, посредством объединения теоретиче-

ских представлений (фундаментальных уравнений), описывающих природу процесса и экспериментальных исследований и имеет вид:

$$I_h = K(\Phi_1)^{\alpha_1} (\Phi_2)^{\alpha_2} \dots (\Phi_n)^{\alpha_n} \quad (2)$$

Здесь K - безразмерный коэффициент; $\Phi_i (i=1, \dots, n)$ - безразмерные критерии (инварианты), учитывающие сложный комплекс взаимосвязанных физических, химических и механических явлений, протекающих на поверхностях взаимодействующих тел, геометрические факторы, а также контактную ситуацию (кинематику движения, состояние смазочного слоя и поверхностных слоев материалов и т.д.).

Для подшипника с тканым полимерным вкладышем, содержащим нити полиимида и политетрафторэтилена [8], предложена детерминистическая формула средней безразмерной интенсивности изнашивания в форме:

$$\bar{I}_h = K \left(\frac{\bar{p}}{E_1}\right)^{\alpha_1} \left(\frac{U_g}{R_0 T_g}\right)^{\alpha_2} \left(\frac{\tau_g V_0}{R_1}\right)^{\alpha_3} \left(\frac{T_0}{T_g}\right)^{\alpha_4}; \quad (3)$$

$$K = 6,0 \cdot 10^{-6}, \alpha_1 = 1,3; \alpha_2 = -1,0; \alpha_3 = 0,54; \alpha_4 = 0,7$$

Здесь \bar{p} - среднее максимальное контактное давление за период эксплуатации, имеющее вид:

$$\bar{p} = \frac{1}{2} [p(0) + p(T)]$$

$$p(0) = \frac{\Delta}{\mu h} \frac{1 - \cos \alpha(0)}{\cos \alpha(0)}, p(T) = \frac{P}{\pi R_1^2 \sin \gamma \sin \alpha(T)} \quad (4)$$

T_f - объемная температура трибосопряжения без учета саморазогрева от трения; T_g - температура стеклования полимера; U_g - энергия активации разрушения антифрикционного полимера при T_g ; R_0 - универсальная газовая постоянная; τ_g - время релаксации напряжений полимера при T_g ; $V_0 = 6,98 \cdot 10^{-2} \beta v R_1$ (м/с) - скорость скольжения точки поверхности шара с координатой $\varphi=0$.

В формуле (3) K - интегральный коэффициент, учитывающий влияние шероховатости контртела, особенности технологии и др. факторы;

$$\Phi_1 = \frac{\bar{p}}{E_1} \text{ - деформационный критерий, характеризующий напряженное состояние полимера;}$$

$\Phi_2 = \frac{U_g}{R_0 T_g}$ - инвариант, описывающий термо-

$$\Phi_2 = \frac{U_g}{R_0 T_g} \text{ - инвариант, описывающий термо-}$$

флуктуационную природу разрушения полимера, энергетический барьер разрушения химических связей, свойственный каждому такому материалу;

$$\Phi_3 = \frac{\tau_g V_0}{R_1} \text{ - комплекс, моделирующий связь}$$

вязкоупругих свойств полимера с длительностью процесса его деформирования и аналогичный по структуре известному критерию Деборы;

$$\Phi_4 = \frac{T_0}{T_g} \text{ - температурный симплекс [8,9].}$$

Приведенная методика использует модель изнашивания, имеющую физический смысл, и дает возможность приблизительно оценивать ресурс вкладышей ФМП. Для оценки достоверности результатов, получаемых этим методом, можно воспользоваться экспериментальными данными, приведенными в [7-9]. На Рис. 3 приведено сравнение зависимостей безразмерной интенсивности изнашивания от давления, построенных по экспериментальным данным и по значениям критериальной модели.

Верхняя и нижняя границы [7-9] на этом рисунке образуют область, внутри которой находятся все экспериментальные результаты по интенсивностям изнашивания вкладышей из различных материалов по имевшимся данным.

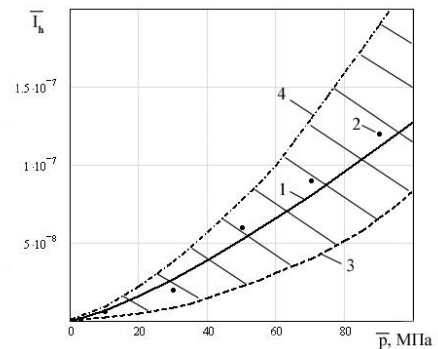


Рис. 3. Сравнение значений безразмерной интенсивности изнашивания, полученных экспериментально и с помощью зависимости в обобщенных переменных: 1 - критериальная модель (3); 2 - эксперимент [7]; 3 - нижняя граница области экспериментальных результатов [7-9]; 4 - верхняя граница области экспериментальных результатов [7-9].

На рис. 4 показано сравнение ресурсов, полученных экспериментально и с помощью методики, рассмотренной выше. Для оценки работоспособности вкладыша имеются следующие данные: контактные давления, возникающие в эксплуатации (в т.ч. при сейсмических воздействиях), а также значения контактных давлений, принятые в экспериментах и в расчетных соотношениях проектировщиков; действующие температуры; скорости скольжения, возникающие в эксплуатации и принятые в расчетах и экспериментах [5,6]. Для определения коэффициента трения скольжения используется следующее вы-

$$\text{ражение [8]: } f = \frac{K \cdot v_s^a}{p_\partial^b \cdot T_0^c}, \text{ где } K \text{ - размерный}$$

коэффициент a, b, c - экспериментально определяемые значения. Область использования формулы:

$$0 < P_\partial < 260 \text{ МПа, } 273 < T_0 < 453 \text{ К,}$$

$$0,0001 < V_s < 0,04 \text{ м/с.}$$

Изучение литературных источников (в том числе справочной литературы наиболее известных фирм, производящих подшипники скольжения: INA/FAG; Glacier; SKF), а также собственный опыт авторов позволили сделать техническую оценку износостойкости триботехнических материалов – аналогов материала, используемого в ФМП.

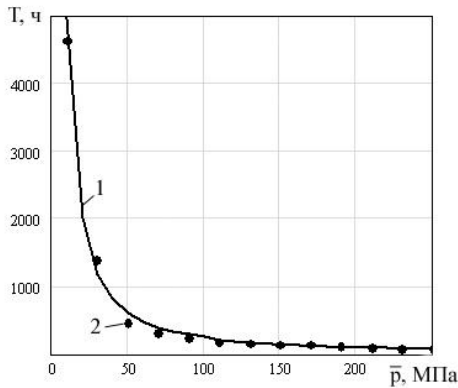


Рис. 4. Сравнение ресурсов, полученных экспериментально и с помощью приведенной выше методики: 1 – расчетная зависимость; $v_0=0,005 \text{ м/с}$; 2 – эксперимент [9], $v_0=0,005 \text{ м/с}$.

В результате выполненного анализа было установлено, что износ фрикционного вкладыша при «нормальных» условиях эксплуатации, т.е. при отсутствии сейсмических воздействий, будет небольшим, что позволяет прогнозировать обеспечение заданного срока службы ФМП (более 30 лет) со значительным запасом. Вполне очевидные преимущества подшипников скольжения – сейсмоизоляторов, как по простоте их конструкции и надежности, так и по экономическим показателям, свидетельствуют о возможности и целесообразности создания в России специализированного производства маятниковых подшипников – сейсмоизоляторов основанного на разработках отечественной промышленности.

Состав и технология композиционного покрытия неизвестны, так как защищены патентом и являются собственностью Изготовителя. Известно, однако, что главным и наиболее важным компонентом данного композиционного материала является фторопласт. Следует при этом понимать, что основным элементом, обеспечивающим надежность эксплуатации и необходимую долговечность ФМП, является антифрикционное покрытие на подвижных деталях маятникового подшипника. Имеющиеся в нашем распоряжении данные свидетельствуют о том, что зарубежные ученые и технологи постоянно совершенствуют свои разработки в области создания новых компонентов самосмазывающегося покрытия, не раскрывая своих технологических секретов. В табл. 2 представлены рабочие характеристики маятникового подшипника скольжения.

Представляет значительный научный и практический интерес рассмотреть реальные перспекти-

вы и возможности для дальнейшего совершенствования: физико-химических, механических и трибологических свойств самосмазывающегося антифрикционного покрытия для маятниковых подшипников с учетом сегодняшнего состояния отечественной науки и промышленности и, в частности, в связи с развитием наноматериалов и нанотехнологий композиционного материаловедения.

Таблица 2. Рабочие характеристики маятникового подшипника скольжения

Параметр	Пределы изменения параметра
Контактное давление, Р, МПа;	30 ÷ 65
Скорость скольжения, V, м/с;	0,025 ÷ 0,9
Температура окружающей среды, °С	- 40° С ÷ +40° С
Температура в зоне контакта, °С	- 40° С ÷ +450° С
Срок службы, лет	30
Путь трения за 30 лет, м	3000

К настоящему времени уже существует широкая гамма отечественных антифрикционных самосмазывающихся материалов, применяемых в узлах трения скольжения и, в частности, в подшипниках скольжения, цилиндрических и сферических шарнирах [3, 7,10]. Наиболее широко из самосмазывающихся материалов в подшипниках скольжения и шарнирах применяется металлофторопластовая лента (МФЛ). Этот материал имеет высокие допустимые значения параметров нагружения, хорошие теплофизические свойства. Такие материалы применяются при высоких статических (до 350 МПа) и динамических (до 150 МПа) нагрузках, средних скоростях скольжения (до 0,35 м/с при $p = 1 \text{ МПа}$), в широком диапазоне температур (-250°С—+280°С. Технология производства МФЛ отработана как для цилиндрических, так и для сферических подшипников скольжения. К недостаткам этого типа материалов можно отнести: повышение коэффициента трения в зависимости от отработанного ресурса подшипника скольжения, что связано с различием структуры материала по глубине антифрикционного слоя, а также ограниченную величину изнашиваемого слоя (до 200 мкм) и зависимость коэффициента трения в момент начала движения от времени выдержки под нагрузкой.

При выборе материалов для маятниковых подшипников скольжения-сейсмоизоляторов необходимо обратить основное внимание на обеспечение несущей способности, износостойкости, а следовательно, и срока службы, на пределы изменения коэффициента трения, а также тепловую устойчивость, устойчивость к агрессивному воздействию влажной морской среды и углеводородов, к суточ-

ным и сезонным перепадам температуры. Несущая способность материала антифрикционного самосмазывающегося покрытия обеспечивается за счет стальной подложки и высокой прочности сцепления с основой. Из всех возможных случаев применения твердых смазочных покрытий этот вариант является самым оптимальным, так как толщина покрытия мала по сравнению с размерами площадки контакта, и поэтому его несущая способность соизмерима с твердостью стальной основы и может составлять 2-3 тысячи МПа и более [9]. Известно, что износостойкость твердых смазочных материалов также существенно зависит от прочности сцепления покрытия с основой, а коэффициент трения заметно понижается при повышении контактного давления. Чем выше несущая способность, тем выше износостойкость [9].

Износостойкость и трение твердого самосмазывающегося композиционного материала в значительной степени определяются условиями формирования пленок в контакте. Удачная комбинация свойств композиции приводит к свойствам, которые недостижимы при использовании отдельных составляющих [11]. Не случайно, главное внимание при рассмотрении составов композиционных самосмазывающихся материалов уделяется ПТФЭ (фторопласту, тефлону и пр.). На уникальные физико-химические и антифрикционные свойства ПТФЭ исследователи обращали внимание уже давно, с самого первого появления фторуглеродных полимеров и политетрафторэтилена (примерно с начала 60-х годов прошлого века). В дальнейшем интерес к применению ПТФЭ в качестве компонента антифрикционных композитов начал еще более возрастать, так как первоначальные недостатки ПТФЭ (высокий износ, низкие механические свойства, хладотекучесть и др.) удалось преодолеть за счет применения наполнителей. Довольно быстро ученые и технологи научились создавать антифрикционные композиты на основе ПТФЭ, обладающие коэффициентами трения, близкими к значениям чистого фторопласта и износостойкостью, многократно превышающей износостойкость фторопласта. Было установлено, что в результате ориентационного упрочнения фторопласта, происходящего при производстве вытянутых волокон, он приобретает существенно более высокую механическую прочность по сравнению с исходной прочностью. Было также хорошо изучено свойство фторопластовых материалов образовывать при трении по металлу или стеклу тонкие пленки твердой смазки, что само по себе приводило к низкому коэффициенту трения и низкому износу [3, 7, 9- 12]. В нашей стране одними из наиболее удачных материалов для экстремальных условий с высокими показателями несущей способности и износостойкости, были разработанные в 80-х годах композиты, армированные волокнами термостойких полимеров и, так называемые, антифрик-

ционные ткани, созданные на основе волокон термостойких полимеров и политетрафторэтилена. Большое применение находят самосмазывающиеся покрытия на основе тканей из антифрикционных волокон (ПТФЭ с графитом) и высокопрочных полиимидных и углеродных волокон. Подшипники с покрытиями этого типа имеют высокие показатели: высокие допустимые значения статической и динамической несущей способности, приемлемые для шарнирных подшипников скольжения; допустимые скорости скольжения (до 0,5 м/с при $p=1$ МПа); широкий диапазон рабочих температур ($-130^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$). Покрытия имеют высокую износостойкость, могут работать в агрессивных средах, имеют низкие и устойчивые значения коэффициентов трения. Антифрикционные ткани делятся на гладкие и профильные. Гладкие ткани (рис. 5.) имеют в пределах раппорта лицевой и изнаночной основы нити одной линейной плотности. В профильных тканях раппорт по основе лицевой или изнаночной сторон включает разные по линейной плотности группы нитей (рис. 6).

Каждая из групп состоит из нитей с разной линейной плотностью. Поэтому профильные ткани типа «даклен» [3] имеют рельефную поверхность. При необходимости для повышения прочности ткани волокна могут заменяться в изнаночной стороне частично или полностью металлической проволокой.

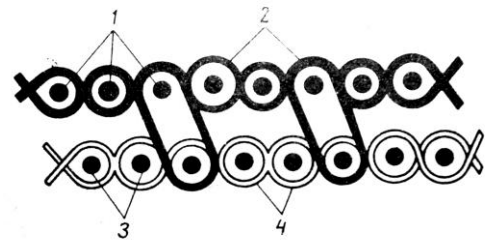


Рис.5. Схема плетения гладкой антифрикционной самосмазывающейся ткани типа «нафтлен» [3]: 1,3 – уточные нити; 2,4 – основные нити.

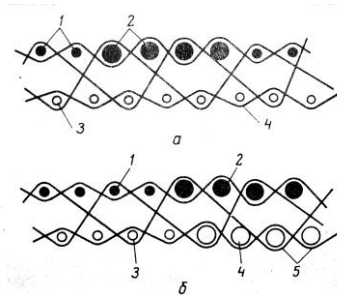


Рис.6. Схема плетения профильной ткани «даклен» [3]: а – изнаночные нити основы одинаковы по линейной плотности; 1, 2 – основные нити из ПТФЭ; 3 – основная нить из пряжи ПВС; 4 – уточная нить из ПТФЭ. б – изнаночные нити основы неодинаковы по линейной плотности; 1, 2 – основные нити из ПТФЭ; 3, 4 – основные нити из аримида; 5 – уточная нить из ПТФЭ.

При создании композиционных самосмазывающихся материалов на тканевой основе в качестве основного антифрикционного компонента используют волокна ПТФЭ, имеющие высокую степень ориентации молекул ПТФЭ, что существенно повышает его прочность и износостойкость. При этом достигается различная степень содержания антифрикционных волокон на поверхности трения (лицевой поверхности ткани). На обратной стороне, наоборот, достигается максимальное содержание армирующих волокон, обладающих значительно более высокими адгезионными свойствами к металлу, чем ПТФЭ. Таким образом, обеспечивается высокая адгезионная прочность покрытия, т.к. основным методом соединения покрытия с элементами подшипника является приклеивание. В связи с тем, что несущая способность и температурная стойкость покрытия зависят в значительной степени от свойств основных компонентов (антифрикционного и армирующего), покрытия тканевого типа имеют перспективы для дальнейшего совершенствования по мере разработки новых материалов. При сравнении свойств различных типов рассмотренных материалов очевидны преимущества композиционных самосмазывающихся тканевых материалов [3, 13, 14]. Материал указанного типа в 80-х годах прошлого века был разработан в СССР и в качестве покрытия для сферических шарниров типа ШЛТ успешно выдержал стендовые и натурные испытания в процессе подготовки и при запуске «Бурана» [7, 10]. В США широкое применение материала такого типа началось в 70-х годах и продолжается по сей день. Основываясь на приведенных данных, можно сформулировать основные правила создания самосмазывающегося композита: 1) неизношенное тело композита должно иметь достаточно высокую несущую способность, чтобы поддерживать поверхностный слой; (2) армирующее композит вещество не должно повреждать поверхность контртела; (3) на поверхности контртела должна формироваться пленка переноса с низкой поверхностной энергией и с низким трением. Таким образом, одним из наиболее перспективных самосмазывающихся материалов для подшипников скольжения – сейсмоизоляторов в настоящее время являются покрытия на основе смесевых тканей волокон полимеров. В связи с тем, что несущая способность и температурная стойкость покрытия зависят, в основном, от соответствующих характеристик компонентов, входящих в состав композиционного материала, имеются перспективы дальнейшего совершенствования механических свойств композита по мере разработки новых тех-

нологий и материалов (в том числе нанотехнологий и наноматериалов). Исходя из задач и перспектив по освоению шельфовых нефтегазовых месторождений в России, и имея положительные примеры применения ФМП на платформах Проекта Сахалин-2, на которых использовались импортные самосмазывающиеся покрытия, необходимо приступить к выполнению программы создания производства ответственного антифрикционного материала многоцелевого назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *И.В. Крагельский, В.С. Щедров.* Развитие науки о трении / М: Изд. АН СССР, 1956.–233 с.
2. *Tribology Handbook.* Ed.by *M.J.Neal.* - London. Butterworth, 1972.
3. *Ковалев, А.Д., Михайлов П.Е., Абросимов В.Н.* Антифрикционные самосмазывающиеся тканевые материалы из химических волокон. Антифрикционные самосмазывающиеся пластмассы и их применение в промышленности / *А.Д. Ковалев,* - М: Об-во «Знание», 1984.
4. *United States Patent N 4,644,714 Victor A.Zayas.* Earthquake protective column support, 1987
5. *Constantinou M.C., Mokha A.S., Reinhorn A.M.* (1990) “Experimental and Analytical Study of a Combined Sliding Disc Bearing and Helical Steel Spring Isolation System”, Report NCEER-90-0019, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
6. *Clarke C.S.J., Buchanan R., Efthimiou M., Shaw C.* Structural Platform Solution for Seismic Arctic Environments – Sakhalin II Offshore Facilities. 2005, Offshore Technology Conference -17378-PP. 21 p.p.
7. *Машиностроение, Энциклопедия, том IV-1 / гл. ред. К.В. Фролов.* - М.: Машиностроение, 1995. – с.226-239.
8. *В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов.* Прочность и износостойкость деталей машин / - М.: Высшая школа, 1991. - 292 с.
9. *Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н.* Трение и износ в экстремальных условиях. // М: Машиностроение, 1986, - 223 с.
10. *А.П.Семенов, Ю.Э.Савинский.* Металлофторопластовые подшипники. - М: «Машиностроение», 1976, с. 192.
11. *Н.П.Истомин, А.П.Семенов.* Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров // М: Наука, 1981. – 147 с. 1986, т. 7, № 5, с. 945-950.
13. *Кужаров А.С., Рядченко В.Г., Гречко В.О., Степанов Б.Р., Попов Ю.И.* Триботехнические возможности получения крупногабаритных подшипников с покрытием на основе волокон ПТФЭ. // Трение и износ, 1986, т.
12. *Кужаров А.С., Рядченко В.Г., Гречко В.О., Ковалев В.Н., Кириченко Л.П.* Исследование триботехнических свойств различных текстильных структур на основе волокнистого политетрафторэтилена // Трение и износ, т. 7, № 1, с. 123-128.
13. *Перепелкин К.Е.* Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства // Химические волокна, 2005, № 4, с. 7 - 22.; № 5 - С.55-69; 2006, №1.

APPLICATION OF FRICTION DAMPERS AT SEISMIC ACTION

© 2011 ¹Y.N., Drozdov, ²V.A, Nadein, ¹V.N. Puchkov

¹Mechanical Engineering Research Institute, Moscow; ² OGS – Energiadiagnostika, Moscow

For the first time in a world science and practice scientific bases of designing of support of sliding, self lubricating, self aligning, with the reversive movement, used as seismo insulators for bridges, industrial and civil constructions, and also for the oil-and-gas sea plat-

forms surpassing on bearing and damping abilities known before support are created. It is developed original experimental calculating definition of service life of the frictional pendulum sliding bearing seismo insulators with use of dependences for definition of speed of the wear process, submitted in the generalized variables, and also a method of an estimation of friction coefficient of frictional pendulum bearings. Prospects of reception domestic antifriction selflubricating coating with suitable tribological properties and a modern condition of a problem are considered. Basis for these researches are the known development in area of tribological material science in view of modern achievements of nano tribology. The most perspective heat-resistant polymers and filler, and also received on their basis combined mixed antifrictional fabrics are considered.

Key words: friction pendulum, bearing, tribological characteristic, damping of seismic action, friction coefficient, wear, life time, anti-frictional materials, tribological properties, selflubricating composite material

Yurii Drozdov, Doctor of Technical Science, Head of Tribology Department of Mechanical Engineering Research Institute of Russia Academy of Science, Moscow. E-mail: drozdov@imash.ac.ru. Vladimir Nadein, General Director–Prezident of OGS-Energo diagnostika. E-mail: Vladimir_Nadein@ogsed.ru. Vladimir Puchkov, Candidate of Technical Science, Head of Laboratory “Wear at Boundary Lubrication” of Mechanical Engineering Research Institute of Russia Academy of Science, Moscow. E-mail: puchkov.v.n@bk.ru.