

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА МР

Муллюкин О.П., Пономарев Ю.К., Паровой Ф.В., Безводин В.А.,
Чегодаев Д.Е., Бугаков А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В настоящее время в различных областях техники (аэрокосмическая, двигателестроение, судостроение, станкостроение, энергетика, медицина и др.) широко применяются упругопористые детали, изготовленные путем холодного прессования заготовок, сформированных из металлической растянутой проволочной спирали - "металлорезина" или материал МР [1].

Механические свойства материала МР достаточно хорошо изучены, причем его упругофрикционные характеристики с достаточной степенью точности могут быть спрогнозированы расчетным путем в зависимости от материала и диаметра проволоки, параметров спирали, формы и массы заготовки, усилия прессования и ряда других факторов. В то же время практически не исследованы электротехнические свойства материала МР, знание изменения которых при деформировании и износе упругих элементов может быть использовано при безразборной диагностике технического состояния металлорезиновых конструкций в процессе эксплуатации.

Материал МР является электропроводным материалом и поэтому к нему применимы основные законы электротехники. Основным электрическим параметром, который может характеризовать величину упругих деформаций материала МР в зависимости от действующей нагрузки, является его электрическая проводимость G (величина, обратная электрическому сопротивлению R проводника) [2]. Изменение электрической проводимости материала МР при его деформировании обусловлено изменением количества составляющих его основу контактирующих между собой проволочек по всему объему материала. Нагружение (осевое сжатие силой P) материала МР приводит к увеличению количества взаимно контактирующих проволочек. При этом увеличивается площадь контакта проводников, а также растет количество участков проволоки, включаемых параллельно и уменьшается средняя длина этих участков. В результате увеличивается проводимость. Разгрузка (снятие осевой силы P) материала МР приводит к снижению количества взаимно контактирующих проволочек и соответственно уменьшению проводимости материала.

Исследование характера изменения величины электрической проводимости G от величины деформирующей его нагрузки P проводилось на 5 образцах прямоугольной формы, изготовленных из

проволоки ЭИ-708А-ВИ диаметром 0,09 мм. Пористость образцов составляла 0,81 при массе каждого 60 г.

Замеры электрической проводимости проводились при размещении образцов между двумя плоскими медными пластинами толщиной 2 мм. Пластины подключались при помощи непаяных проводов к клеммам измерителя Е7-8 с диапазоном измерения сопротивления 0,001 - 10⁷ Ом и пределом допускаемой основной погрешности измерения сопротивления $-[0,001(1+\operatorname{tg} \varphi)R+1 \text{ ед.счета}]$, где $\operatorname{tg} \varphi$ - тангенс угла потерь при реактивном характере сопротивления. Замер параметра G осуществлялся в направлении прессования образца (совпадает с направлением усилия P). Разброс величины электрической проводимости ненагруженных образцов не превышал 10%. Исследование влияния деформации материала МР на его электрическую проводимость осуществлялось при дискретном изменении величины усилия P от 0 до 385 Н, выбранном из условия работы образцов в зоне упругих деформаций, в процессе циклического нагружения - разгрузки образцов с одновременным замером среднearифметической проводимости G при фиксированной величине деформации X .

Из анализа упругофрикционных характеристик образцов, выражающих зависимость $P = f(X)$ (рис.1), следует, что первоначаль-

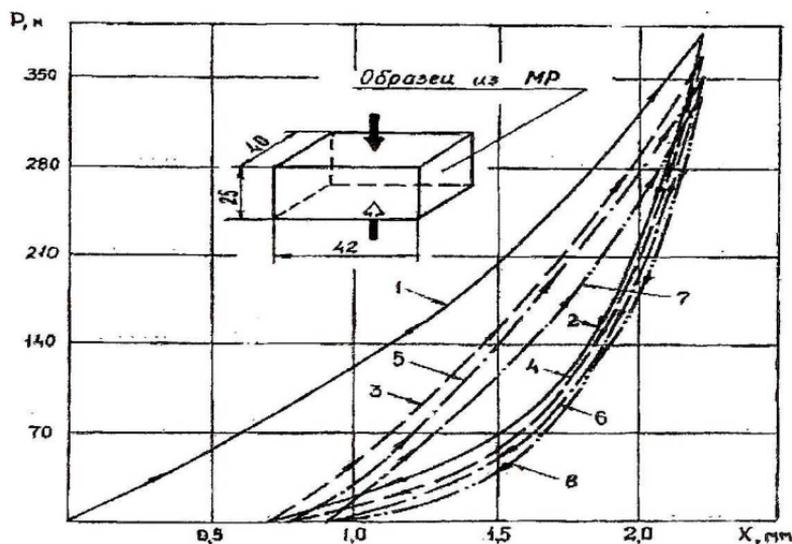


Рис. 1. Зависимость деформации x от усилия нагружения P при циклическом сжатии - разгрузке образцов из МР

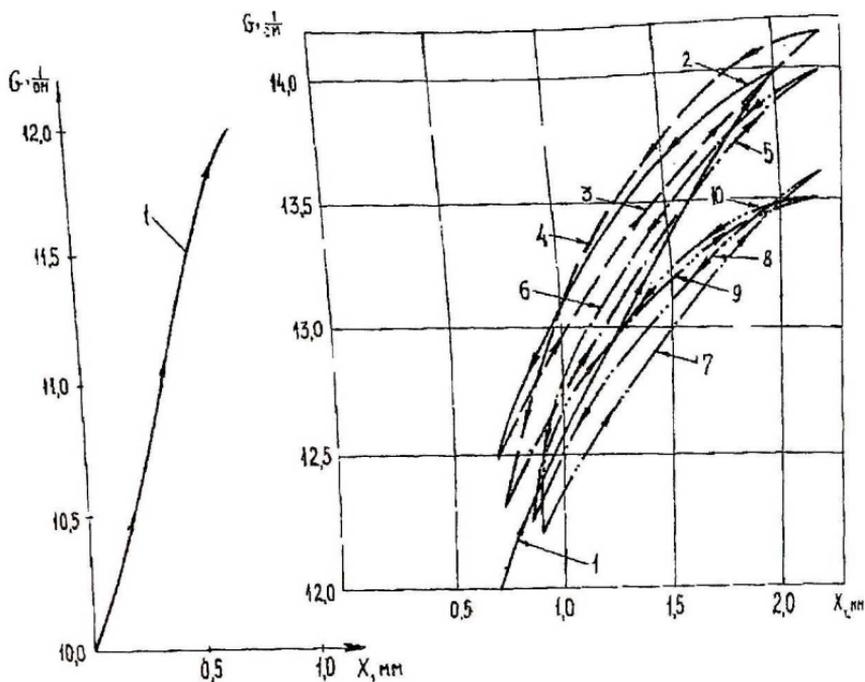


Рис. 2. Зависимость электрической проводимости G от деформации x при циклическом сжатии-разгрузке образцов из МР

ные процессы нагружения-разгрузки 1-2, 3-4, 5-6 и 7-8 не отличаются стабильностью. Это объясняется усадкой (упрочнением) материала МР при циклическом изменении усилия P . После 10 циклов нагружения - разгрузки образцов ("тренировочный" цикл) их упругофрикционная характеристика стабилизируется.

Аналогичный процесс стабилизации наблюдается для характеристик, выражающих зависимости $G = f(X)$ (рис. 2) и $G = f(P)$ (рис. 3), на которых гистерезисные петли 7-8 и 9-10 соответствуют "тренировке" образцов после 10 и 30 циклов нагружения - разгрузки образцов соответственно. Как видно, дальнейшая "тренировка" образцов свыше 10 циклов практического значения для стабилизации параметров не имеет.

В ходе экспериментов установлено, что электрическое сопротивление проводников из МР существенно зависит от климатических условий, в первую очередь от температуры окружающей среды. увеличивается с ее повышением. Это также связано с

увеличением количества контактирующих друг с другом проволочек по объему материала при его температурном расширении и ростом удельного сопротивления материала.

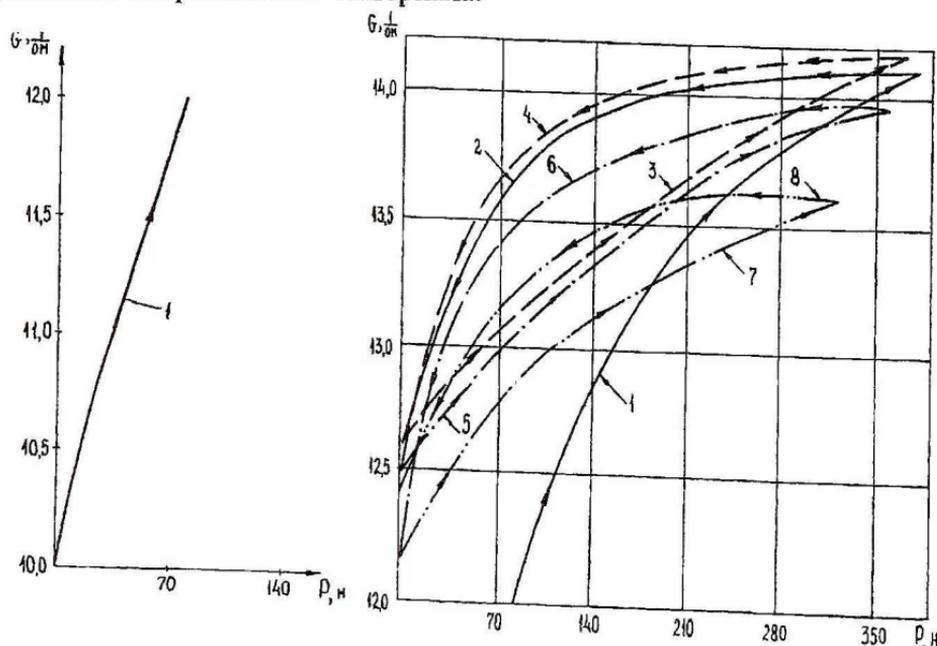


Рис. 3. Зависимость электрической проводимости G от усилия нагружения P при циклическом сжатии-нагружении образцов из МР

В этой связи в ряде случаев может быть целесообразно изготавливать изделия из МР на базе металлов, сопротивление которых слабо зависит от температуры (константан, манганин и др.). У ряда металлов при температуре, близкой к абсолютному нулю, сопротивление скачком уменьшается до нуля (явление сверхпроводимости). Этот эффект может быть использован для создания на базе МР температурных датчиков в конструкциях на широкий диапазон рабочих температур.

Изменение электрического сопротивления образцов из МР в зависимости от температуры может быть рассчитано по классическим электротехническим зависимостям с учетом проведения описанной выше "тренировки" металлорезиновых образцов. Так, если ρ_t , ρ_{293} - удельное сопротивление образца соответственно при температуре t и 293 К (табличное значение); R_t , R_{293} - сопротивления того же образца

при температуре t и 293 К; α температурный коэффициент сопротивления (ТКС) [2], то:

$$\rho_t = \rho_{293} + [1 + \alpha (t - 293 \text{ K})],$$

$$R_t = R_{293} + [1 + \alpha (t - 293 \text{ K})]$$

Эффект изменения проводимости G при циклическом сжатии-разгрузке может быть использован при конструировании изделий из МР (а также из порошковых материалов и композитов) для диагностики их технического состояния в процессе эксплуатации. Примеры таких устройств и рекомендации по их конструированию представлены ниже.

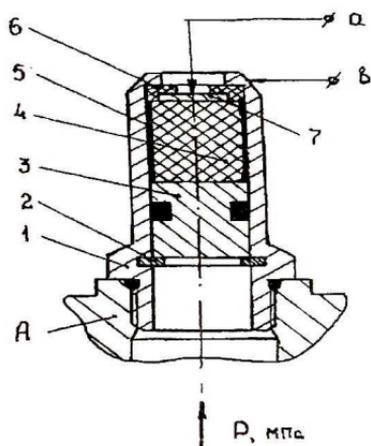


Рис. 4. Датчик давления

прокладку 6 для обеспечения электрической изоляции. Нижний торец цилиндра 4, имеющий контакт с корпусом 1 через поршень 3 и верхний торец цилиндра (через компенсационную медную прокладку 7) введены в электрическую цепь (контакты "а" и "б") для замера электрической проводимости G . Величина параметра G определяется величиной давления p , воздействующего на цилиндр из МР через поршень 3.

Следует отметить, что представленная конструкция датчика перспективна для использования в качестве сигнализатора положения исполнительных органов пневмогидроаппаратуры для экстремальных условий работы при оценке надежности работы систем, повышения удобства их обслуживания и степени автоматизации управления. Основные положения данного направления изложены в работе [3].

На рис. 4 представлена конструкция датчика давления рабочей среды в трубопроводе А. В корпусе 1 при помощи стопорной шайбы 2 зафиксирован чувствительный элемент - поршень 3. При использовании датчика в криогенных или высокотемпературных трубопроводных трактах в качестве чувствительного элемента применяют металлические мембраны или сиффоны. Над поршнем 3 размещен цилиндр 4 из материала МР, имеющий фторопластовую оболочку 5 и текстолитовую

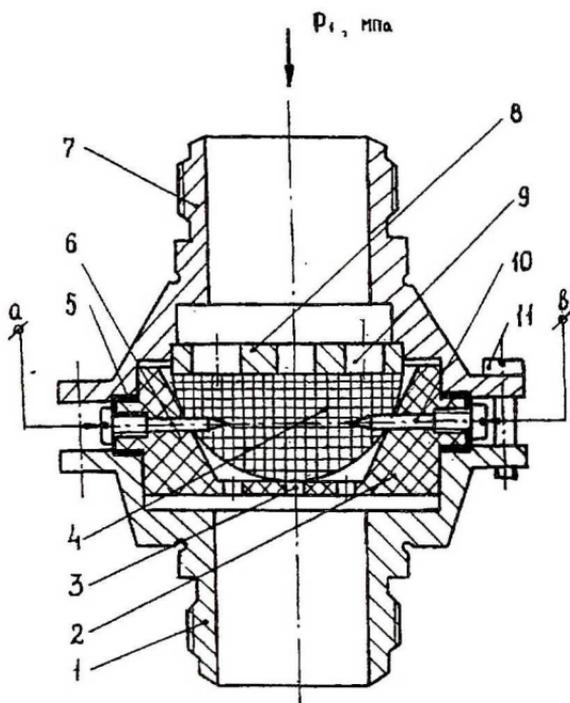


Рис. 5. Воздушный фильтр

На рис. 5 представлена конструкция воздушного фильтра с устройством контроля степени его загрязненности в процессе эксплуатации. Внутри составного корпуса в виде патрубков 1 и 7, герметично соединенных при помощи С-образного уплотнителя 5 и винтов 11 размещена текстолитовая проставка 2 с перфорацией 3 нижнего дна. В проставке размещен фильтроэлемент 4 из материала МР, поджатый прокладкой 9. В фильтроэлемент 4 через проставку 2 и уплотнитель 5 герметично введены медные болты электроды 6 и 10, соединенные с измерительными клеммами "а" и "б", с которых снимается величина параметра G

Принцип контроля загрязненности фильтра основан на периодическом замере величины параметра G , изменяющегося по мере засорения фильтра. Это связано с тем, что засорение вызывает увеличение перепада давления воздуха на фильтре. Следствием этого

является дополнительное осевое поджатие фильтроэлемента, что приводит к увеличению его электропроводности G .

Отметим, что конструктивное исполнение таких устройств может быть весьма разнообразным и определяется, в первую очередь, конфигурацией фильтроэлемента и видом его крепления в корпусе. Из литературного обзора [4,5] следует, что все существующие конструкции фильтров из пористых металлов не имеют устройств диагностирования их технического состояния в эксплуатации, в том числе по учету аварийных выбросов пылевых включений в экологически защищаемые среды.

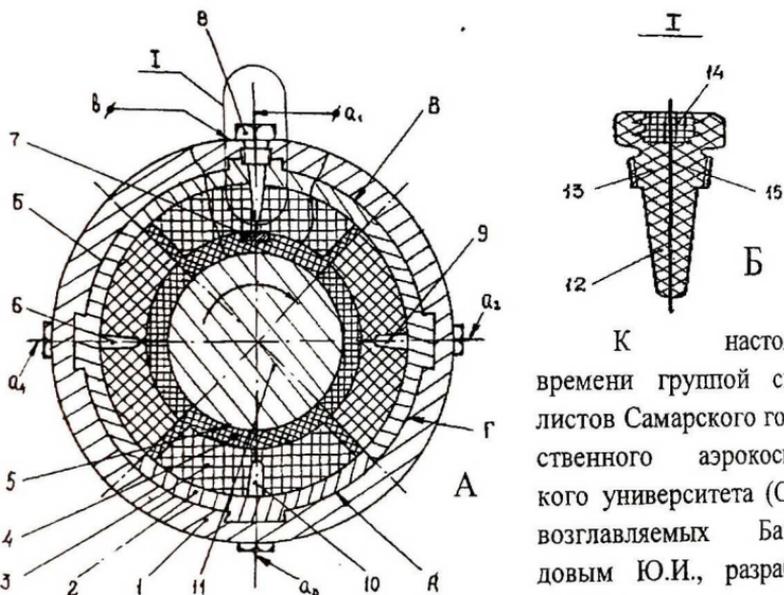


Рис. 6. Сегментная опора скольжения:
а- конструкция опоры, радиальный разрез; б- датчик

К настоящему времени группой специалистов Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ), возглавляемых Байбородовым Ю.И., разработано семейство высокоэффективных эластичных металлопластмассовых (ЭМП) опор скольжения для

восприятия радиальных и осевых нагрузок, действующих на роторы турбомашин с жидкостным (водяным) охлаждением и эластичных металлических самосмазывающихся (ЭМС) опор скольжения при условии отсутствия режима жидкостного трения [6]. Такие конструкции представляют собой композицию стального жесткого корпуса, упругого промежуточного слоя из спрессованных спиралей (материал МР) и прочно соединенного с ними за счет частичной экструзии в поры МР слоя фторопласта-3, выполняющего роль антифрикционного покрытия,

а также гидроизолятора, удерживающего смазочный материал в зоне трения [7]. Высокую эффективность указанных конструкций подтвердили натурные испытания ЭМП опор скольжения на крупнейших ГЭС России: Волжской, Саратовской, Братской, Плявининской, Усть-Илимской, Саяно-Шушенской, Иркутской, а также в Китае: ГЭС Лун-янся и ГЭ Джоуба.

Развернуты работы по повышению работоспособности подшипников при значительном перепаде эксплуатационных температур на базе создания несущих конструкций в виде биметаллической основы из двух и более материалов ("сэндвичные" конструкции). В стадии отработки находятся биметаллические основы многослойных опор, каждый слой которых, реагирующий только на определенную (фиксированную) величину теплопритоков в зону сопряжения, выполнен из различного сочетания материалов. Это обеспечивает с одной стороны, повышение несущей способности опоры за счет автоматического подрегулирования величины зазора в зоне сопряжения подвески с корпусом, а с другой стороны снижает теплонагруженность опоры при повышенном тепловыделении в зоне контакта опорных поверхностей за счет увеличения площади контактируемых между собой проволочных спиралей в биметаллических основах.

С 1995 г. в СГАУ ведутся работы по изысканию путей безработной диагностики состояния сегментов опор из материала МР в эксплуатации. Один из вариантов данного поиска представлен на рис. 6,а. Конструкция 4-х сегментной опоры скольжения включает стальной статор 1, внутри которого показан сцентрированный набор сегментов А,Б,В и Г. Каждый из сегментов имеет стальной корпус 2, упругодемпфирующий слой 3 из МР и спрофилированную фторопластовую оболочку 4, исключая металлический контакт внутренней и боковых поверхностей каждого сегмента с соседними. Сегменты снабжены датчиками 6,8,9,10, введенными в контакт с внутренней поверхностью через пластинки электроды 7, имеющие соответствующие клеммы a_1, a_2, a_3 и a_4 . Контроль электропроводности G по каждому из сегментов осуществляется с клеммы размещенного в нем датчика и общей клеммы "в", имеющей контакт с наружной поверхностью каждого из сегментов.

В процессе эксплуатации из-за износа трущихся поверхностей, перекоса ротора 11 в радиальном направлении по поверхности 5

оболочки 4 и т.д., величина параметра G по секторам будет изменяться по сравнению с первоначальным значением. Это дает возможность оценить техническое состояние каждого из сегментов в эксплуатации с последующим принятием решения по обнаруженным отказам и съему (демонтажу) отказавшего или работающего на пределе сегмента.

На рис. 6,б представлена конструкция датчика. Внутри корпуса 12 с резьбовым вводом 13 герметично закреплена герметизатором 14 игла - электрод 15, контактирующая с соответствующим электродом датчиков. В ряде случаев возможно применение датчиков на базе паяных конструкций.

В последнее время появились работы, раскрывающие особенности создания различных уплотнительных устройств с податливыми рабочими поверхностями, обладающими высокими эксплуатационными свойствами. В частности, в работе [8] представлено конструктивное исполнение контактных уплотнений на основе материала МР с эластичным (фторопластовым) G - образным покрытием, позволяющее создать высокоэффективное герметизирующее устройство для быстроходных энергомашин на высокотемпературные или криогенные среды. При этом отмечается, что надежность работы таких устройств (ресурс, герметичность) в первую очередь определяется правильностью выбора натяга упругого элемента из МР при установке уплотнения в корпус при сборке и характером нарастания релаксационных напряжений в материале МР при переключении уплотнения в эксплуатации. Для регулирования натяга упругого элемента из МР при сборке уплотнительного устройства и в эксплуатации уплотнение приводного механизма, представленное на рис. 7, оснащено выводами контроля параметра G .

Приводной механизм включает корпус 1, в котором сцентрирован силовой поршень 2 с уплотнением в виде G -образной фторопластовой оболочки 3, внутри которой размещен упругий элемент 4 из материала МР. Поджатие уплотнения (натяг элемента 4) осуществляется при помощи резьбовой опоры 5 и контргайки 6. Поршень снабжен хвостовиком 7, предназначенным для передачи движения, а размещенное в корпусе стопорное кольцо 8 определяет рабочий ход H привода при подаче управляющего давления p . Контроль параметра G

осуществляется с клемм цепочки "а₁ - а₂". По цепочке "а₁ -б" или "а₂ -б" можно контролировать повреждение фторопластовой оболочки. Последнее иногда имеет место при сборке уплотнений с нарушением технологии или отклонениях геометрических размеров сопрягаемых поверхностей.

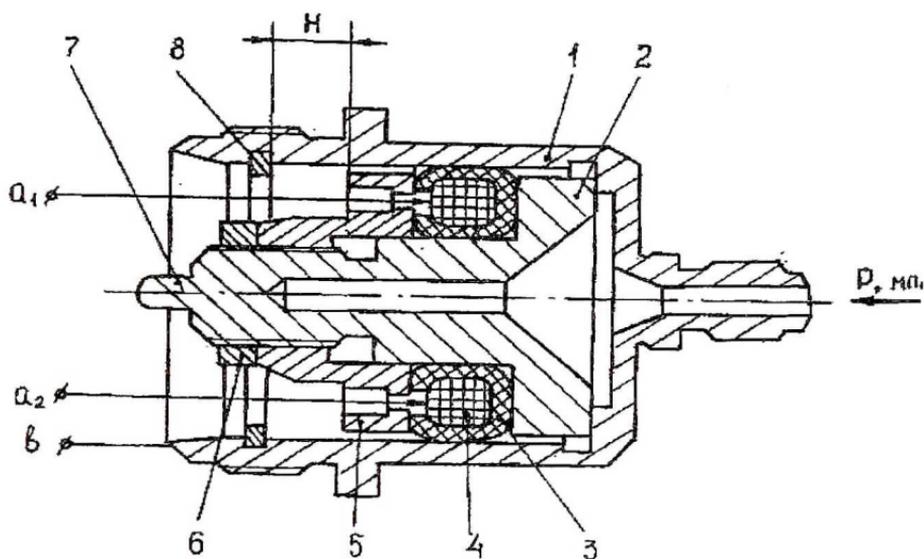


Рис.7. Уплотнение приводного механизма

Представленные сведения по электропроводности изделий из МР и принципы конструктивной реализации этого эффекта нацелены на улучшение технических параметров новой техники и расширение области применения металлорезиновых конструкций, объем которых, наряду с объемом изделий порошковой металлургии, неуклонно возрастает за счет снижения материалоемких производств. Это связано с переориентацией современного производства на выпуск новых материалов, превосходящих по свойствам традиционные: капиллярно-пористые материалы, включая созданные на их основе различные модификации композитных, порошковых и металло-резиновых материалов. Каждый из указанных материалов занимает свою экологическую нишу, определяемую кругом решаемых задач и условиями эксплуатации машин и оборудования [9].

Список литературы

1. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Пономарев Ю.К. Основные направления и перспективы промышленного использования материалов капиллярной структуры//ПТС: Технология авиационного приборо - и агрегатостроения. - Саратов: НИТИ, №4, 1990.-С.45-53.
2. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. С немец. - М.: Мир, 1983. - 520 с.
3. Квасов В.М., Кондрашов Ю.И., Мулюкин О.П. Выбор схемы и конструкции сигнализатора положения исполнительного органа на экстремальные условия рабочей среды// ПТС: Технология авиационного приборо - и агрегатостроения. - Саратов: НИТИ, №1, 1984.-С.83-86.
4. Белов С.В. Пористые материалы в машиностроении М.: Машиностроение, 1981.-247 с.
5. Белоусов А.И., Изжеуров Е.А., Сетин А.Д. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик пористого материала МР// Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. Научн. Тр. - Куйбышев: КуАИ, 1975, вып.2 (73).- С.71-80.
6. Коднир Д.С., Жильников Е.П., Байбородов Ю.И. Эласто-гидродинамический расчет деталей машин. -М.: Машиностроение, 1988. - 245 с.
7. А.с. 1484991 СССР, МКИ⁴ F16C33/02. Сегмент радиального подшипника скольжения / Ю.И. Байбородов, В.П. Тукмаков, А.Г. Дуб и др.; Заявл. 24.02.87; Опубл. 07.06.89.
8. Борисов В.А., Паровой Ф.В. Релаксация напряжений в уплотнениях с упругими элементами из материала МР//Исследование гидростатических опор и уплотнений двигателей летательных аппаратов: Межвуз. Темат. Сб. Научн. Тр. -Харьков: ХАИ, 1986.- С.60-63.
9. Основы создания агрегатов пневмогидравлических систем летательных аппаратов и двигателей. Ч.II: Обеспечение качества динамических процессов и устойчивости систем с агрегатами управления и регулирования/ А.Е. Жуковский, В.Г. Кинелев, О.П. Мулюкин, В.Я. Свербилов, Д.Е. Чегодаев, В.П. Шорин.- Самара: НПО "Импульс", 1995. - 216 с.