

Рис. 3

феры с выбранными параметрами, представлена на рис. 3 вместе с границей устойчивости ротора на гидростатических подшипниках с жестким закреплением. Сопоставление двух границ устойчивости показывает, что постановкой подшипников на упругие опоры с демпфированием можно существенно расширить диапазон устойчивой работы ротора на гидростатических подшипниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В. И. Теоретические и экспериментальные исследования автоколебаний роторов на гидростатических подшипниках. Исследование гидростатических подшипников. Сборник статей. М., «Машиностроение», 1973.
2. Канина П. Л. Устойчивость и переход через критические числа оборотов быстровращающихся роторов при наличии трения. «Журнал технической физики», 1939, вып. 2, т. IX.
3. Сергеев С. И. Демпфирование колебаний ненагруженных роторов с опорами скольжения. Известия АН СССР, ОТН. Механика и машиностроение, 1962, № 4.
4. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. Гостехиздат, 1954.

Ю. И. Байбородов

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛА МР В ОПОРАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Известно, что работоспособность и долговечность опор скольжения в основном определяются наличием жидкостного трения между контактирующими поверхностями. Вместе с тем, исследования уруго-деформирующих подшипников скольжения [1, 2, 3, 4, 5], проведенные в НИГ «Авиационные подшипники» КуАИ, показали, что грузоподъемность смазочного слоя зависит от формы зазора, которая при прочих равных условиях является функцией модуля упругости трущихся поверхностей. Однако неметаллические материалы (капрон, полиэтилен, смола П-68, АК-7, текстолит, ДСП, фторопласты), пригодные для изготовления подшипников скольжения, имеют весьма узкий диапазон значений модуля упругости, что ограничивает создание подшипников с наперед заданными оптимальны-

ми упругими и вибродемпфирующими характеристиками. Созданный в лаборатории № 1 Куйбышевского авиационного института упруго-демпфирующий материал МР [7] позволяет получать эластичные вкладыши подшипников и подпятников скольжения, модуль упругости которых можно задавать в весьма широком диапазоне.

С учетом упругих свойств материала МР и высоких антифрикционных качеств фторопласта в НИИ «Авиационные подшипники» Куйбышевского авиационного института были разработаны конструкции эластичных опор скольжения [8, 9, 10], обладающие рядом преимуществ по сравнению с жесткими металлическими, неметаллическими и металло-керамическими подшипниками и подпятниками скольжения. Модуль упругости таких под-

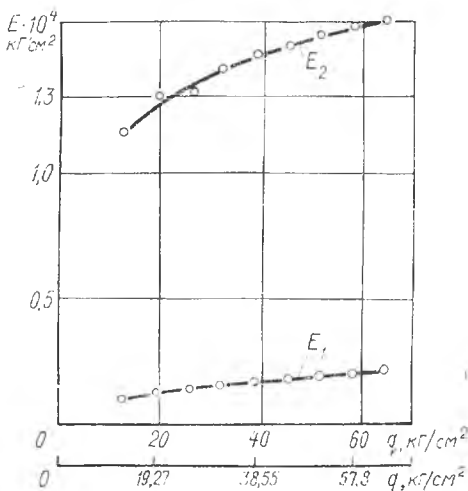


Рис. 1

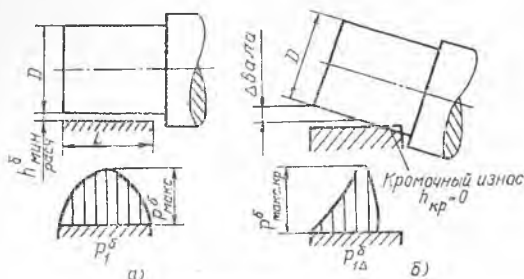
шипников может изменяться в десятки и сотни раз (рис. 1), что дает возможность создавать опоры скольжения с наперед заданными упругими характеристиками. Это обстоятельство имеет особенное значение в машинах с гибкими роторами, где появляется кромочный эффект (рис. 2б), возникающий по причине перекоса вала относительно подшипника.

Гидродинамический [11] и контактно-гидродинамический [6] расчеты толщины смазочного слоя показывают, что эластичный подшипник (рис. 2в) обеспечивает по сравнению с жестким подшипником (рис. 2а) относительно большую толщину смазочного слоя. Данное обстоятельство позволяет компенсировать больший перекося вала, чем это допускает жесткий подшипник.

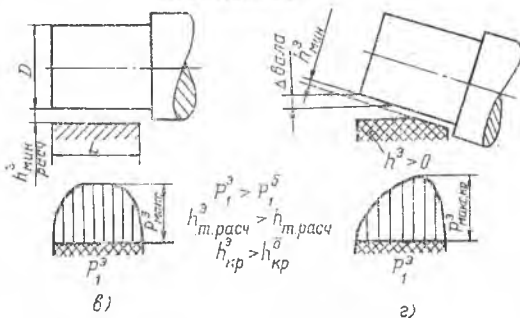
Кроме того, смещение эпюры гидродинамических давлений в сторону перекоса вала приводит к деформации эластичного вкладыша (рис. 2г), что также уменьшает вероятность касания вала кромки подшипника. Указанное преимущество МР-фторопластовых подшипников по сравнению с жесткими баббитовыми подшипниками позволило устранить дефект подшипника в редукторе [12], где перекося вала относительно подшипника достигал 40 мк. Параметры подшипника приведены в таблице. Стендовые натурные испытания показали, что эластичные МР-фторопластовые подшипники позволили полностью исключить

кромочный дефект и обеспечить работу в условиях чисто жидкостного трения на всех режимах работы редуктора. Вибродемпфирующие свойства эластичных МР-фторопластовых подшипников позволили снизить уровень структурного шума, идущего с ротора на корпус редуктора, на 5—10 децибел [13].

Ж е с т к и й



Э л а с т и ч н ы й



Р и с. 2

Высокие антифрикционные, износостойкие и противозадирные свойства фторопласта в сочетании с большой эластичностью материала МР дали возможность резко увеличить работоспособность и долговечность опор, работающих в режиме частых пусков под нагрузкой [12, 14]. В данном случае увеличение работоспособности и износостойкости подшипника обеспечивается не только за счет высоких антифрикционных свойств фторопласта, но главным образом, за счет резкого снижения контактных напряжений, как показано на рис. 3.

В эластичном подшипнике (рис. 3б) за счет меньшего модуля упругости площадь контакта больше, а максимальные напряжения меньше, чем в жестком подшипнике (рис. 3а). В связи с этим износ трущихся поверхностей в период пуска, когда имеет место сухое и полужидкостное трение, в эластичном подшипнике меньше, чем в жестком. Кроме того, при меньших контактных напряжениях время выхода на режим чисто жидкостного трения в эластичном подшипнике значительно уменьшается. Это неизбежно ведет к снижению интенсивности износа подшипника при частых пусках и остановках под нагрузкой и увеличению износостойкости эластичного подшипника по сравнению с жестким в 3—4 раза.

Уникальные свойства материала МР позволили разработать конструкцию эластичного металлического самосмазывающегося (ЭМС) подшипника [10], у которого поры заполнены смазывающим материалом (рис. 4), а рабочей поверхностью являются спрессованные провололочные спирали.

Экспериментальные исследования [15] и эксплуатационные испытания таких подшипников на машинах завода Куйбышев-кабель (таблица) показали, что долговечность эластичных самосмазывающихся подшипников в 6—8 раз больше, чем у аналогичных серийных бронзовых и чугуновых подшипников.

Преимущества эластичных МР-фторопластовых и пористых подшипников позволили произвести разработку эластичных опор для 12-ти промышленных объектов.

Испытания, проведенные на различных предприятиях (таблица), показали, что подшипники, изготовленные на основе МР, во всех случаях обеспечили требуемую работоспособность и долговечность.

На основании длительных экспериментальных исследований в НИГ «Авиационные подшипники» КуАИ и широких промышленных испытаний на ряде машиностроительных предприятий можно сделать следующие выводы.

I. Эластичные металло-пластмассовые (ЭМП) гидродинамические опоры скольжения:

1) работоспособны при удельных нагрузках до $3,92 \text{ мн/м}^2$ и скоростях скольжения до 60 м/с;

2) позволяют компенсировать перекосы вала значительно больше, чем это допускают жесткие бронзовые, баббитовые и даже немаetalлические подшипники, изготовленные из текстолита, капрона, ДСП, смолы П-68, АК-7, полиэтилена, фторопласта и других полимеров;

3) обладают высокими вибродемпфирующими свойствами;

4) имеют высокую работоспособность и износостойкость при частых пусках под нагрузкой;

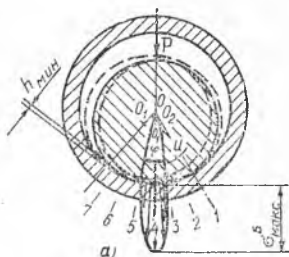
5) позволяют осуществлять дополнительный теплоотвод от опоры за счет прокачки холодного масла через поры эластичного вкладыша.

II. Эластичные металлические самосмазывающиеся (ЭМС) опоры скольжения на основе материала МР:

1) дают возможность создавать подшипники, модуль упругости которых в сотни раз меньше модуля упругости бронзы и баббита;

2) позволяют получать контактные напряжения в рабочей зоне в несколько раз меньше, чем в жестких подшипниках;

1. Баббитовый



2. Эластичный

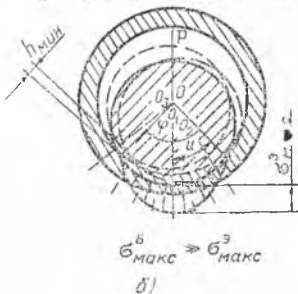


Рис. 3.

№	Объект	Конструкция опоры	Кол-во опор	d вала мм	L под. мм	$\frac{Mn}{P}$ $\frac{M}{M^2}$	$\frac{M}{U}$ $\frac{M}{C}$	T час.	Дата																				
1	Редуктор № 1	Подшипник МР + Фторопласт 4Д	2	170	180	2,403	17,8	300	VI-X 1965 г.																				
2	Редуктор № 2	Подшипник МР + Фторопласт 4Д » »	2 4 4 2	60 90 90 120	65 65 85 119	2,766 2,658 2,148	31,4 14,2 14,2 12,3	250 250 250 250	X 1968 г. II 1969 г.																				
										3	Редуктор № 3	Подшипник МР + Фторопласт 4Д » »	2 4 4 2	60 90 90 120	65 65 85 119	2,766 2,658 2,148	31,4 14,2 14,2 12,3	500 500 500 500	VI 1969 г. XII 1970 г.										
																				4	Редуктор № 4	Подшипник МР + Фторопласт 4Д	6 6	190 190	78 146	2,344 3,894	16,7 16,7	10 10	VI 1971 г.
6	Маслоагрегат	Подшипник МР + фторопласт 4Д	2 2	52 52	52 52	3,021 3,021	5,55 5,55	50 50	III-IV 1971 г.																				

7	Маслоагрегат	Подпятник МР + ФГ-ст ФКН-7	1	16×98	—	0,695	7,8	50	IX 1971 г.
8	Насос откачки № 4	Подпятник	1	260×500	—	2,913	11,5	1680	XI 1970 г.
		МР + ФГ-ст 4К-20	1		—	2,913	11,5	1680	III 1971 г.
		»	1		—	2,913	11,5	1680	
		»	1		—	2,913	11,5	1680	
9	Турбокомпрессор ТК-36	Подпятник	1	50	42	0,981	55	20	XII 1971 г.
		МР + Фтороласт 4Д	1	50	42	0,981	55	20	
10	Насос откачки № 3	Подпятник	1	260×500	—	5,395	11,5	3866	X 1972 г.
		МР + Фтороласт 4Д	1		—	5,395	11,5	3866	II 1974 г.
		»	1		—	5,395	11,5	3866	
		»	1		—	5,395	11,5	3866	
11	Эмальмашина К-20 № 3	МР + ВНИИП-207	72	25	15	1,962	0,05	8600	1971— 1973 г.
12	Изолирующая машина ИЖ-32	МР + Брайстек	6	50	90	3,924	0,20	8000	1971— 1974 г.
13	Насос откачки № 4	Подпятник	1	260×500	—	9,025	11,5	2024	VII 1973 г.
		открытого типа	1		—	9,025	11,5	2024	II 1974 г.
		МР + фтороласт	1		—	9,025	11,5	2024	
		АМИМ-15М	1		—	9,025	11,5	2024	

3) позволяют аккумулировать большой объем резервной смазки в подшипнике;

4) работоспособны при беззазорной посадке вала в подшипник;

5) не требуют механической обработки;

6) технология изготовления ЭМС подшипников значительно проще технологии изготовления пористых металло-керамических подшипников, и они могут изготавливаться (при наличии прессового оборудования) на любом машиностроительном заводе и даже в полевых ремонтных мастерских при диаметрах подшипников до 300—400 мм;

7) позволяют компенсировать перекосы вала значительно больше, чем это допускают жесткие бронзовые, чугунные и металло-керамические подшипники;

8) обладают высокими вибродемпфирующими свойствами;

9) при разовой подаче смазки долговечность ЭМС подшипников в 6—8 раз больше, чем у аналогичных бронзовых, чугунных и баббитовых подшипников;

10) потери на трение в ЭМС подшипниках при разовой подаче смазки значительно меньше, чем в аналогичных бронзовых, чугунных и баббитовых подшипниках;

11) ЭМС подшипники позволяют применять как жидкую, так и кохсидентную и твердую смазку;

12) ЭМС подшипники длительно работоспособны при удельной нагрузке 40 кг/см^2 и скорости скольжения $0,193 \text{ м/с}$.

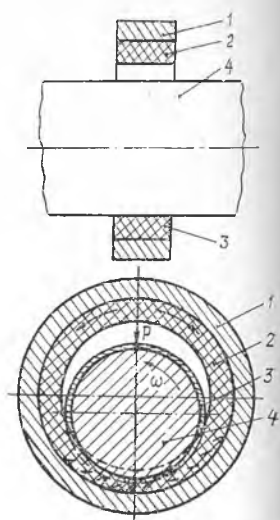


Рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. Коднир Д. С. Контактнo-гидродинамическая теория смазки. Куйбышевское книжное издательство, 1963.

2. Байбородов Ю. И. Исследование упруго-деформирующихся неметаллических подшипников скольжения жидкостного трения. Кандидатская диссертация. КуАИ, 1965.

3. Байбородов Ю. И. Изменение температуры смазки неметаллического подшипника скольжения. «Вестник машиностроения», М., 1965, № 1.

4. Коднир Д. С., Байбородов Ю. И. Определение толщины смазочного слоя, давления и коэффициента трения в неметаллических подшипниках скольжения. «Вестник машиностроения», М., 1965, № 12.

5. Коднир Д. С., Байбородов Ю. И. Контактнo-гидродинамический расчет неметаллических подшипников скольжения жидкостного трения. «Вестник машиностроения», М., 1968, № 3.

6. Байбородов Ю. И. Преобразование номограммы в формулу для расчета толщины смазочного слоя. Юбилейная научно-техническая конференция. КуАИ, 1967.
7. Сойфер А. М., Бузицкий В. Н., Першин В. П. Упруго-демпфирующий материал МР. Авторское свидетельство № 183174.
8. Сойфер А. М., Коднир Д. С., Байбородов Ю. И. Трехслойный подшипник. Авторское свидетельство № 186225.
9. Байбородов Ю. И., Данильченко А. И. Подпятник. Авторское свидетельство № 273081.
10. Байбородов Ю. И. Опора скольжения. Авторское свидетельство № 354185.
11. Абанов Л. В., Альшиц И. Я., Бердичевский Я. Г., Коднир Д. С., Умнягин М. Г., Устюжанинов М. И. Подшипники жидкостного трения прокатных станов. Машгиз, 1955.
12. Кудряшов Л. Н., Байбородов Ю. И., Садыков В. А., Мельников В. С., Покровский И. Б. Исследование работоспособности эластичных подшипников скольжения на редукторе. I Всероссийская конференция «Контактно-гидродинамическая теория смазки и ее практическое применение в технике». КуАИ, Куйбышев, 1972.
13. Байбородов Ю. И., Котов В. А., Селивановский Ю. М., Акустическая эффективность эластичных металло-пластмассовых подшипников. Материалы научно-технической конференции. КуАИ, 1970.
14. Байбородов Ю. И. Определение износа баббитовых эластичных подшипников скольжения методом искусственных баз. Научно-техническое совещание по методам испытаний и оценки служебных свойств материалов для подшипников скольжения. ИМАШ, М., 1969.
15. Байбородов Ю. И., Жерносеков Г. М., Савинов А. П., Рабышко В. Г. Исследование работоспособности и долговечности эластичных металлических самосмазывающихся подшипников скольжения. I Всероссийская конференция «Контактно-гидродинамическая теория смазки и ее практическое применение в технике». КуАИ, Куйбышев, 1972.

**Ю. И. Байбородов, А. В. Терещенко,
И. Б. Покровский, А. В. Аносова,
А. А. Павлов, М. И. Дронов**

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МР-ФТОРОПЛАСТОВЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ СЕГМЕНТОВ ПОДПЯТНИКА НА НАСОСЕ ОТКАЧКИ ВОЛЖСКОЙ ГЭС ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

Опыт длительной эксплуатации гидрогенераторов на Волжской ГЭС имени В. И. Ленина показал, что в ряде машин имеют место подплавления сегментов подпятника, приводящие к вынужденной остановке гидрогенераторов и непредусмотренному ремонту подпятника.

Анализ характера и последовательности дефектов подпятников, проведенный Волжской ГЭС имени В. И. Ленина и предприятием ОРГРЭС [1], показывает, что в большинстве случаев подплавления сегментов подпятника возникают в периоды пуска и остановки гидрогенераторов.

Натурными исследованиями подпятников агрегатов № 9 и 20, выполненными предприятием ОРГРЭС [1], было установлено, что одним из наиболее важных факторов, вызывающих подплавление сегментов подпятника во время пусков и остановок,