

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Б.М. СИЛАЕВ

**ТРИБОЛОГИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
В МАЛОВЯЗКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕДАХ**

САМАРА 2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Б.М. СИЛАЕВ

## ТРИБОЛОГИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В МАЛОВЯЗКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕДАХ

*Утверждено Редакционно-издательским советом  
Самарского государственного аэрокосмического университета  
в качестве монографии*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2008

УДК 621.891  
ББК 34.41  
С36

Рецензенты:  
Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии СССР,  
доктор технических наук, профессор ИМАШ Ю. Н. Д р о з д о в;  
заведующий кафедрой основ конструирования машин СГАУ,  
доктор технических наук, профессор В. Б. Б а л я к и н

**Силаев Б.М.**  
С36 ТРИБОЛОГИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В МАЛОВЯЗКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕ-  
ДАХ: монография / Б.М. Силаев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм.ун-та,  
2008. – 264 с. : ил.

ISBN 978-5-7883-0564-6

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований автора по трению и изнашиванию деталей машин в маловязких смазочных средах – топливных и криогенных жидкостях, воде и ее растворах и других химически активных жидкостях. На основании теоретически полученной обобщенной математической модели трения и изнашивания, отражающей термодинамические и кинетические явления во фрикционной зоне, и адаптирования ее к условиям трения скольжения и трения качения, предлагается широкий спектр методик расчета различных узлов трения, функционирующих в указанных средах. Показаны методы обеспечения долговечности по износостойкости вновь разрабатываемых узлов трения и повышения работоспособности и срока службы существующих конструкций узлов, а также номинально неподвижных, но подверженных вибросмещениям соединений деталей. Значительное внимание уделено моделированию узлов трения и современным методам и средствам исследования и идентификации изношенных поверхностей. Рассмотрены вопросы разработки системы смазки и охлаждения узлов трения маловязкими жидкостями, существенно определяющей их надежность и ресурс работы.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами обеспечения работоспособности трибосистем, функционирующих в рабочих маловязких средах, а также может быть использована преподавателями, аспирантами и студентами технических учебных заведений.

УДК 621.891  
ББК 34.41

ISBN 978-5-7883-0564-6

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6	3.2.3. Уравнение переноса энергии.....	77
1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В МАЛОВЯЗКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕДАХ.....	12	3.2.4. Уравнение баланса энтропии.....	80
1.1. Современные представления и физико-химические аспекты контактного взаимодействия поверхностей трения.....	12	3.3. Обобщенная математическая модель трения и изнаши- вания.....	83
1.2. Основные модельные представления об изнашивании твердых тел и развитии методов расчета.....	24	3.4. Адаптация обобщенной модели к трибосистемам, рабо- тающим в условиях трения качения.....	86
1.3. Общая характеристика методов исследований, испыта- тельных средств и объектов исследований.....	37	3.5. Адаптация обобщенной модели к трибосистемам, рабо- тающим в условиях трения скольжения.....	91
2. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ФРИКЦИОН- НОМ КОНТАКТЕ ПРИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКЕ МАСЛОМ И МАЛОВЯЗКИМИ ЖИДКОСТЯМИ.....	40	3.6. Концепция обобщенного метода расчета износостойко- сти деталей машин.....	93
2.1. Условия на контакте и характер взаимодействия поверхностей трения качения при граничной смазке маслом.....	41	4. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА, МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕС- ПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКА ТРИБОСИС- ТЕМ.....	97
2.2. Особенности взаимодействия и изнашивания поверх- ностей трения качения при смазывании маловязкими рабочими жидкостями.....	48	4.1. Основные особенности методов исследований и конст- руирования испытательных средств.....	97
2.3. Условия на контакте и характер взаимодействия поверхностей трения скольжения при граничной смаз- ке маслом.....	58	4.2. Универсальная стендовая машина трения.....	100
2.4. Особенности взаимодействия и изнашивания поверх- ностей трения скольжения при смазывании мало- вязкими рабочими жидкостями.....	62	4.2.1. Особенности конструкции стендовой машины трения.....	100
2.5. Общая характеристика особенностей контактного взаи- мдействия поверхностей при граничной смазке.....	65	4.2.2. Применяемые средства измерений и регистрации параметров испытаний.....	104
3. МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТРИБОСИСТЕМ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В МАЛОВЯЗКИХ СМАЗОЧНЫХ СРЕДАХ, И КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА ИЗНОСО- СТОЙКОСТИ.....	68	4.3. Методическое обеспечение испытаний.....	108
3.1. Физическая модель-концепция трибологической систе- мы как трибореактора.....	68	4.3.1. Метод измерения момента и мощности трения... ..	108
3.2. Математическое описание трибологической системы как трибореактора.....	73	4.3.2. Метод ускоренных испытаний трибосистем на износостойкость.....	113
3.2.1. Уравнение переноса массы.....	73	4.4. Техническая диагностика трибосистем.....	119
3.2.2. Уравнение переноса количества движения.....	76	5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИП- НИКОВ КАЧЕНИЯ.....	127
	3	5.1. Исследование влияния конструктивной схемы подшип- никового узла на поведение основных трибологических характеристик.....	127
		5.2. Исследование мощности трения подшипников качения и ее основных составляющих.....	138
		5.2.1. Исследование характера изменения мощности трения в зависимости от основных режимных параметров.....	138
		5.2.2. Определение составляющих мощности трения подшипников качения и коэффициента трения... ..	141
		5.3. Исследование теплового режима подшипников качения... ..	154
		5.4. Исследование закономерностей изнашивания и работо- способности подшипников качения.....	161