

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии

С. Ф. Ермаков  
В. Г. Родненков  
Е. Д. Белоенко  
Б. И. Купчинов

# Жидкие кристаллы в технике и медицине

Под общей редакцией  
д-ра техн. наук, член-корр. НАНБ Ю. М. Плескачевского,  
д-ра мед. наук, академика НАНБ В. Н. Гурина

Минск            Москва  
«Асар»        «ЧеРо»

2002

УДК 532.783:[621.892+612.76]

Книга рекомендована к изданию Ученым советом Института механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси

**Жидкие кристаллы в технике и медицине/ С.Ф. Ермаков, В.Г. Родненков, Е.Д. Белоенко, Б.И. Купчинов. – Мн.: ООО «Асар», М.: ООО «ЧеРо», 2002. – 412 с. – ISBN 985-6572-66-5. – ISBN 5-88711-175-5.**

В книге изложены результаты исследования смазочного действия жидких кристаллов, а также материалов и препаратов на их основе. Приведены сведения о трибологической эффективности холестерических жидких кристаллов в технических узлах трения как при непосредственном их применении в качестве смазки, так и в качестве присадок к маслам. Показаны некоторые связи трибологических свойств жидких кристаллов с их физическими. Представлена принципиально новая концепция граничной смазки суставов, согласно которой существенную роль в механизмах снижения внутрисуставного трения играет жидкокристаллическое состояние синовиальной жидкости, и, в частности, присутствующие в ней холестерически-нематические жидкие кристаллы. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие эту концепцию, а также описаны результаты работ по созданию искусственных синовиальных жидкостей, содержащих присущие натуральной синовии жидкие кристаллы, воспроизводящие ее смазочные свойства и высокую хондропротекторную эффективность, проверенную на моделях остеоартрита и при клинической апробации. Систематизированы современные данные о патогенезе деструкции суставов и проблемах создания искусственных лубрикантов для ее профилактики при ревматических болезнях.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, научных работников, аспирантов инженерных и медико-биологических профессий, а также студентов старших курсов физических, машиностроительных, медицинских и биологических факультетов вузов.

Табл. Ил. Библиогр.: 657 назв. Авторы: С.Ф. Ермаков, В.Г. Родненков, Е.Д. Белоенко, Б.И. Купчинов.

**Рецензенты:** д-р техн. наук, проф. В.Г. Савкин  
д-р мед. наук, проф. И. Р. Воронович

B 375673  
ЦНБ им. Я. КОЛАСА  
НАН Беларуси

ISBN 985-6572-66-5 (Асар) © Ермаков С. Ф., Родненков В. Г.,  
ISBN 5-88711-175-5 (ЧеРо) Белоенко Е. Д., Купчинов Б. И., 2002  
© ООО «Асар», 2002

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	6
I. ТРИБОТЕХНИКА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ .....	9
1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ.....	10
1.1. Жидкокристаллическое состояние вещества и виды жидких кристаллов.....	10
1.1.1. История открытия жидких кристаллов .....	10
1.1.2. Классы жидких кристаллов .....	16
1.2. Классификация жидких кристаллов и их структура .....	19
1.3. Свойства жидких кристаллов .....	28
1.3.1. Оптические и электрические свойства жидких кристаллов.....	28
1.3.2. Особенности формирования жидкокристаллических слоев на поверхностях твердых тел.....	30
1.3.3. Реологические свойства жидких кристаллов .....	35
2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТРЕНИИ И СМАЗКЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ .....	38
2.1. Общие сведения о трибологии. Основные понятия и термины.....	38
2.2. Трение твердых тел при смазке .....	44
2.2.1. Молекулярно-механическая теория трения.....	44
2.2.2. Граничное трение твердых тел .....	47
2.2.3. Твердые смазочные материалы.....	56
2.2.4. Жидкостная смазка твердых тел .....	57
3. ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА .....	63
3.1. Лабораторные трибометры .....	65
3.1.1. Машины и приборы с контактом поверхностей трения по площади .....	68
3.1.2. Машины и приборы с линейным контактом .....	71

3.1.3. Машины и приборы с точечным контактом .....	72
3.1.4. Маятниковые трибометры.....	75
3.1.5. Универсальные машины трения .....	82
3.2. Косвенные методы испытания смазочных материалов.....	83
3.3. Эксплуатационные испытания.....	89
<b>4. ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ</b>	
<b>ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ .....</b>	<b>97</b>
4.1. Индивидуальные жидкие кристаллы.....	98
4.2. Жидкие кристаллы и смазочные среды .....	109
4.2.1. Совместимость жидких кристаллов с маслами .....	109
4.2.2. Влияние жидких кристаллов на реологические свойства масел.....	112
4.2.3. Влияние жидких кристаллов на триботехнические свойства масел.....	120
<b>5. О КОНЦЕПЦИИ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ.....</b>	<b>134</b>
5.1. Структура тонких слоев жидкости у поверхности твердого тела .....	134
5.2. Поверхностные силы в тонких прослойках жидкости .....	143
5.3. Эффекты, наблюдающиеся при деформировании граничных структурированных слоев .....	149
5.4. Концепция микрополярной жидкости и связанные с ней гидродинамические эффекты .....	163
<b>6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В ТЕХНИКЕ .....</b>	<b>170</b>
6.1. Обкатка двигателей внутреннего сгорания с использованием жидких кристаллов .....	170
6.2. Применение жидких кристаллов в качестве антифрикционной присадки к моторным маслам.....	177
6.3. Применение жидких кристаллов при обработке металлов .....	181
<b>II. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ.....</b>	<b>185</b>
<b>7. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТРИБОЛОГИИ И СМАЗКЕ СУСТАВОВ .....</b>	<b>186</b>
7.1. Биомеханика синовиальной среды суставов .....	186
7.1.1. Кинематика синовиальных суставов.....	187
7.1.2. Структура и функции суставного хряща.....	199
7.1.3. Биомеханические свойства хрящевого матрикса суставов .....	210
7.1.4. Роль синовиальной жидкости как протектора трущихся суставных поверхностей .....	220
7.2. Современные концепции трения, изнашивания и смазки суставов .....	226
7.2.1. Общие представления о трении в суставах .....	226
7.2.2. Концептуальные модели смазки суставов.....	234

7.2.3. Молекулярные модели смазки суставов .....	248
8. ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ВНУТРИСУСТАВНОГО ТРЕНИЯ .....	257
8.1. Влияния трущихся поверхностей и смазочной среды на трение суставных хрящей .....	257
8.2. Синовиальная жидкость как жидкокристаллическая биологическая среда .....	268
8.3. Взаимосвязь структурно-механических и антифрикционных свойств синовиальной среды суставов .....	282
8.4. Концептуальная модель смазочного действия жидкокристаллических соединений при внутрисуставном трении .....	294
9. ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРЕПАРАТЫ ПРИ ЛЕЧЕНИИ СУСТАВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ .....	304
9.1. Механизмы деструкции соединительных тканей при ревматических болезнях .....	305
9.2. Основные направления в лечении ревматических болезней суставов .....	318
9.3. Проблемы создания искусственных лубрикантов для локальной терапии болезней суставов .....	327
9.4. Жидкокристаллические лубриканты для лечения заболеваний суставов .....	334
Заключение .....	362
Сокращения и обозначения .....	365
Литература .....	367