

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 621.89

DOI: 10.30748/zhups.2019.59.09

С.В. Воронін, Н.М. Аношкіна, М.В. Горбачов, С.Д. Куп'янський

*Український державний університет залізничного транспорту, Харків*

## ВИКОРИСТАННЯ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ СПОЛУК В ЯКОСТІ АНТИФРИКЦІЙНИХ ТА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНИХ ПРИСАДОК ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН

*В статті розглянуто перспективні рідкокристалічні речовини, наведені їх хімічні і фізичні властивості, обґрунтовано доцільність їх застосування в якості присадок до мастильних матеріалів мобільних машин. Проведено пошук та аналіз вже існуючих досліджень застосування рідкокристалічних присадок. Вплив холестеричних рідких кристалів на процес тертя вивчено в не повній мірі. Обрано напрямок подальших досліджень, а саме пошук раціональних концентрацій холестеричних рідкокристалічних присадок в мастильних матеріалах машин та механізмів.*

**Ключові слова:** рідкі кристали, присадки, мастильні матеріали, тертя, холестерики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зменшення зносу сучасної техніки, тобто збільшення строку її служби, а також підвищення інтенсивності її роботи, є пріоритетними завданнями сучасної трибології. Найпростішим і ефективним способом рішення даних проблем є використання мастильних матеріалів, а підвищення їх мастильної здатності є актуальним завданням.

Мастильні матеріали мають певний набір хімічних і фізичних властивостей, які в процесі роботи механізмів зазнають значних змін, що в свій час відображається на їх експлуатаційних властивостях. Щоб уникнути подібних змін, в мастила вводять присадки (добавки) – спеціальні речовини і їх композиції за допомогою яких можна підвищити стійкість масел до окислення, зменшити залежність в'язкості від температури, підвищити мастильну здатність тощо.

Нині відкрито і протестовано багато різних присадок, які успішно виконують свої функції. Однак продовжується пошук та дослідження нових речовин в області трибології.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом, згідно науково-дослідним роботам в галузі тертя та зносу, інтенсивно розвивається застосування нанотехнологій для поліпшення властивостей мастильних матеріалів.

З [1–3] знаємо, що структуру граничних мастильних шарів можна вважати полімолекулярною епітропною (орієнтаційно впорядкованою) рідкокристалічною фазою. Молекули в таких шарах можуть мати різний спосіб просторової орієнтації та впорядкування. Саме способом орієнтації молекул відносно поверхонь тер-

тя, що змащуються й визначається мастильна здатність цих шарів і при цьому орієнтація молекул на межі розподілу твердого тіла і мастильного середовища відтворює орієнтацію поверхні тіла тертя. Тож можна регулювати несучу та мастильну здатність граничних шарів за допомогою зміни способу орієнтації поверхневого шару, а створення в вузлах тертя рідкокристалічних шарів з певною орієнтаційною структурою забезпечить їм потрібну зносостійкість.

Оскільки на межі поверхні тертя є некомпенсовані молекулярні зв'язки, то з прилеглої області мастильного середовища відбудеться поглинання її молекул поверхнею тертя і, як результат цього фізичного процесу, вільна енергія такої поверхні зменшиться [4]. Цей процес супроводжується конкуренцією (конкурентна адсорбція), тобто більш полярні молекули витісняють з адсорбційного шару менш полярні. Цілком природно, що в першу чергу до таких молекул відносяться присадки, що мають жорсткий дипольний момент.

Адсорбовані молекули присадки покривають поверхню тертя на першому етапі товщиною в одну молекулу (мономолекулярний шар), при цьому активна кінцева група таких молекул забезпечує хорошу адгезію до підкладки.

В результаті утворюється полімолекулярний граничний шар. Цьому фізичному процесу присвячено досить велику кількість науково-дослідних робіт, при цьому товщину полімолекулярного шару визначають величиною радіуса дії поверхневих сил твердого тіла.

Поряд з адсорбцією молекул поверхнево-активних речовин під впливом силового поля поверхні тертя відбувається ще один фізичний процес - поляризація. Цьому процесу в науково-дослідних роботах по тертю і зносу раніше не було приділено достатньо уваги.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є розгляд перспектив використання рідкокристалічних речовин в якості протизношувальних та антифрикційних присадок до мастильних матеріалів машин, виявлення найбільш придатних для такої ролі сполук.

Щоб досягти даної мети потрібно провести огляд і аналіз літературних та інших джерел з цієї області, оцінити результати вже проведених досліджень та експериментів.

### Виклад основного матеріалу

В останні роки спостерігається тенденція використання в якості присадок до мастильних матеріалів сполук, що мають в певних умовах рідкокристалічний стан.

Рідкий кристал – це специфічний агрегатний стан речовини (мезоморфний стан) (рис. 1), у якому вона проявляє одночасно властивості рідини (текучість) і кристала (анізотропія) [3]. Саме на такому мезоморфізмі граничного мастильного шару ґрунтується триботехнічна ефективність даних хімічних сполук. Такий стан мають деякі органічні речовини, що додає до трьох відомих нам агрегатних станів (рідкий, твердий, газоподібний) четвертий – рідкокристалічний.

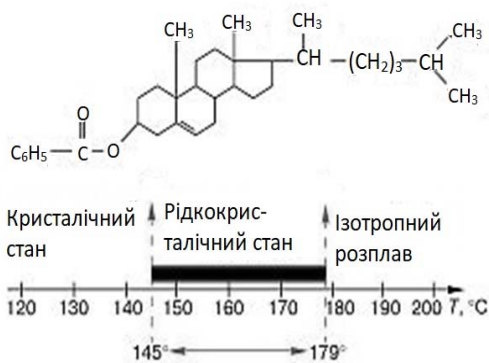


Рис. 1. Температура фазових переходів вперше отриманої рідкокристалічної сполуки холестерилбензоата [4]

Цей стан проявляється при нагріванні кристалів деяких речовин. У процесі плавлення утворюється проміжна рідкокристалічна фаза (мезофаза), якій властиві зазначені вище властивості. Така мезофаза існує в певному температурному інтервалі, крайніми точками якого є кристалічний стан речовини і перехід її в ізотропну (звичайну) рідину. Поєднуючи властивості рідин та твердого тіла, рідкі

кристали формують на твердій поверхні граничні плівки, які мають високу несучу здатність і при цьому низьке тертя в їх шарах.

Досліджено поки три різновиди рідких кристалів: холестерики (умовне позначення ХПК), нематіки (умовне позначення НПК), смектики - СПК. Прийняті умовні графічні зображення (рис. 2.)

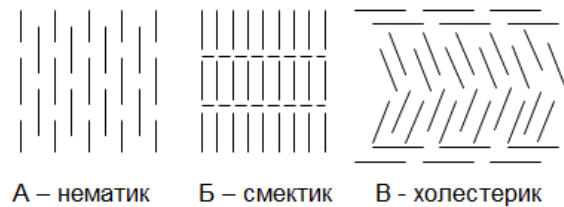


Рис. 2. Різновиди рідких кристалів

Найменш впорядковану структуру мають нематичні кристали (від грецького слова “nema” – нитка.)

Нематики мають паралельне розташування молекул, що мають дальній орієнтаційний порядок (як і в кристалів), але можуть переміщуватися у трьох напрямках, обертатися кругом однієї осі і в їх розташуванні виявляється лише ближній порядок (як і в рідині).

Найбільш впорядковані смектичні рідкі кристали. Молекули в смектиках розташовуються так, щоб їх осі були паралельні, і формують набір шарів. В одних смектичних речовин молекули упорядковані, в інших же розташовуються безладно. У будь-якому випадку осі молекул паралельні одна одній і перпендикулярні площині шару. Товщина шару дорівнює довжині молекули. У всіх смектиків незалежно від деталей структури енергія взаємодії між шарами молекул набагато слабкіша ніж енергія взаємодії молекул усередині одного шару. В наслідку шари можуть легко ковзати один відносно одного.

Холестеричні рідкі кристали. Назва “холестеричні” кристали отримали через те, що їх молекулярна будова характерна для великого числа сполук, які містять холестерин.

Молекули ХПК розташовані безладно, як у нематиків, та при цьому вони організують шари, як у смектиків. Осі молекул паралельні площинам шарів. Через присутність атомів хіральної (асиметричної) форми в молекулах РК молекули наступного шару повертаються на невеликий кут. Цей кут дуже маленький, але в результаті формується спіральна структура, в якій відстань між сусідніми шарами приблизно дорівнює товщині молекули. При переміщенні вздовж осі спіралі через певну кількість шарів орієнтація молекул стане такою ж як і в першому.

В роботах [5–6] досліджується ефективність суміші різних фаз нематичних і смектичних рідких кристалів в якості мастила для контактних повер-

хонь зі сталі. Ці суміші додавалися до гасу в різних концентраціях і при змащенні сталі відзначається зниження коефіцієнта тертя (в порівнянні з чистим гасом).

З робіт [7–10] відомо, що холестеричні рідкі кристали мають структуруючий вплив на граничні шари поверхонь тертя, отже вони можуть бути ефективними присадками до мастильних матеріалів. РК здатні адсорбуватися на поверхні контакту і утворювати полімолекулярні плівки, які мають низький коефіцієнт тертя в їх шарах. Така здатність і лежить в основі мастильної дії рідкокристалічних присадок.

Аналіз результатів представлених в роботі [10] показав, що доволі ефективним є застосування холестеринових ефірів бензойної кислоти в якості присадок до олив. Бачимо, що при введенні присадок в відсотковому вмісті до 3% в базові оливи збільшується їх протизносні властивості. Досліджувались

індустріальні оливи I-20A і I-40A з введеною в них присадкою знос знижується на 20-50 %, а також моторні оливи M-8B, M-10Г<sub>2</sub>K з додаванням присадки знос знижується на 5-30 %, це обумовлюється наявністю в них пакету присадок, які ввів в оливу виробник.

З багатьох джерел відомо про перспективність дослідження холестеричних рідких кристалів в якості присадок до мастил. Була досліджена значна кількість речовин цього типу.

Аналізуючи джерела можна зробити висновки, що значну ефективність в ролі присадки мають холестерилі ефіри.

У таблиці 1 показані деякі освоєні виробництвом рідкокристалічні матеріали холестеричного типу (а саме холестеринові ефіри) [11]. На практиці прийнято позначати холестеричні великою літерою X. Цифра вказує на номер розробки.

Таблиця 1

Рідкокристалічні матеріали холестеричного типу освоєні виробництвом

№	Рідкокристалічні матеріали	Температурні переходи °С передбачені ТУ	
		В рідкокристалічний стан	В ізотропну рідину
1	Холестерилформіат (X-19)	60-63	93-99
2	Холестерилацетат (X-3)	60-63	111-116
3	Холестерилпропіонат (X-10)	93,5-97	111,5-114
4	Холестерилбутират (X-9)	97-100,5	107,5-111
5	Холестерилвалерат (X-4)	88-92	Не нижче 95
6	Холестерилкапронат (X-11)	100-93	Не нижче 95
7	Холестериленантат (X-12)	100-93	Не нижче 109
8	Холестерилкапрілат (X-6)	100-93	106-109
9	Холестерилпеларгонат (X-17)	77-79	Не нижче 87
10	Холестерилкапрінат (X-5)	81-85	Не нижче 88
11	Холестерилундецилат (X-18)	81-85	90-93
12	Холестериллаурат (X-8)	81-85	90-93
13	Холестерилтридецилат (X-20)	60-64	80-84
14	Холестерилмиристат (X-15)	69,5—72,5	82,5-84,5
15	Холестерилпентадецилат (X-28)	68-72	80-84
16	Холестерилпальмітат (X-2)	Не нижче 70	80-86
17	Холестерилстеарат (X-7)	Не нижче 70	76-86
18	Холестерилолеат (X-16)	Рідкокрис.	76-86
19	Холестерилбензоат (X-1)	145,5-148,5	175,5-179
20	Холестерил-п-нітробензоат (X-14)	185-189,5	Не нижче 235
21	Холестерил-п-метилбензоат (X-22)	178-182	Не нижче 230
22	Холестерил-п-бутилбензоат (X-40)	125-129	Не нижче 210
23	Холестерил-о-бромбензоат (X- 23)	103,5-107,5	132-136
24	Холестерил-п-бромбензоат (X- 24)	174-178	Не нижче 230
25	Холестерил-о-хлорбензоат (X- 29)	104,5-108,5	Не нижче 144
26	Холестерил-п-хлорбензоат (X- 29)	166-170	Не нижче 200
27	Холестерил-п-метоксибензоат (X-30)	175-179	Не нижче 250
28	Холестерил-п- гексилоксибензоат (X-35)	146-150	Не нижче 220
29	Холестерил-п-октилокси-бензоат (X-37)	133,5-137,5	Не нижче 200
30	Холестерилціннамат (X-13)	Не нижче 156	Не нижче 197
31	Холестерил-п-нітроціннамат (X-20)	169-173	240-244
32	Холестерилхлорид (X-26)	169-173	Не нижче 94

У роботах [12–15] наведені дослідження мономерних рідких кристалів, їх вплив на мастильні властивості олив та спосіб розташування молекул таких сполук на поверхнях тертя.

Дослідження [15–17] показують перспективність використання ліотропних рідких кристалів в якості присадок до мастил. В роботах відзначено, що ліотропна фаза формує на сталевій поверхні тертя плівку, що покращує умови тертя і представлені результати досліджень ліотропних, термотропних рідких кристалів, що утворюють нематичну, смектичну і холестеричну мезофазу на різних основах.

В роботі [18] наведені дані випробувань нематичних та смектичних рідких кристалів алкілціанобіфенолів і алкоксціанобіфенолів, а також алкілціанобіфенілциклогексана. Ці рідкі кристали складаються з алкільного ланцюга (гнучка структура) і ціанобіфенильної групи (тверда структура). Аналізуючи наведені дані бачимо, що для всіх досліджуваних зразків коефіцієнт тертя виявився нижчим за коефіцієнт тертя товарних синтетичних олив.

Результати робіт [19] показують, що використання низькомолекулярних рідких кристалів в якості присадок до n-гексадекану є перспективним напрямком досліджень.

Автори відзначають: при додаванні досліджуваної присадки до чистого n-гексадекану зникає перехід від граничного до еластогідродинамічного режиму змащування при низьких швидкостях ковзання. Також було підмічено, що фактична товщина плівки гексадекана з експериментальною присадкою виявилася більшою, ніж очікувалося (згідно еластогідродинамічної теорії мащення в області низьких швидкостей).

Аналізуючи джерела бачимо, що вибір РК присадки диктується умовами роботи пари тертя, а головною умовою є робоча температура в зоні контакту. Можна навести наступні приклади.

Температура підшипників кочення двигунів внутрішнього згоряння, паромашин, компресорів, зубчастих передач, насосів тощо може змінюватися в межах 60–110 °С в залежності від серії і розмірів підшипників, застосовуваного мастила і температури навколишнього середовища, але не повинна перевищувати максимально допустимої температури, зазначеної заводом-виробником.

На прогрітому двигуні температуру стінок тримається в межах 100–150 °С. Більш високу температуру мають при цьому стінки верхньої зони циліндрів, які омиваються найбільш гарячими газами. У двигунах з повітряним охолодженням окремі ділянки верхньої зони циліндрів нагріваються до 170–180 °С, а середня температура їхніх стінок зав-

жди буває вище, ніж при рідинному охолодженні. Залежно від способу охолодження конструкція циліндрів і всього двигуна набуває своїх характерних особливостей.

За даними джерела [20] робочі температури головки поршня і першого поршневого кільця дизельних двигунів можуть досягати температур, що перевищують 200 °С (табл. 2).

Таблиця 2

Температура поршнів і перемички першого поршневого кільця деяких дизелів

Двигун	Температура °С	
	верхньої частини головки поршня	перемички першого поршневого кільця
GMC	333	-
СМД-7	223	130
Д-54 (чавунний поршень)	325-335	232-237
Д-54 (алюмінієвий поршень)	250-255	203-210

Під час експлуатації плунжерних пар температура контактуючих поверхонь може досягати 300–500 °С.

Температура в зоні контакту пар тертя залежить від матеріалу з якого вони виготовлені, швидкості ковзання, навантаження, чистоти обробки поверхні.

Мастильні матеріали, що застосовуються в вузлах тертя повинні мати відповідну температурну стійкість, а рідкокристалічні присадки мають обиратися так, щоб робочі температури вузла не спричинили перехід присадки в стан ізотропної рідини.

Велику роль грає концентрація присадки в базовій оліві (рис. 3).

По мірі зростання концентрації присадки в базовій оліві змінюється її молекулярний стан. Концентрація багатьох присадок в мастильному матеріалі перевищує значення ККМ1 та ККМ2. Міцелютворення прямо залежить від енергії зв'язку молекул присадки із середовищем і між собою. Коли енергія зв'язку між молекулами присадки більша ніж енергія зв'язку присадки з середовищем, утворюються міцели. Отже, частина з них перебуває у асоційованому стані та не бере участь в утворенні граничних плівок.

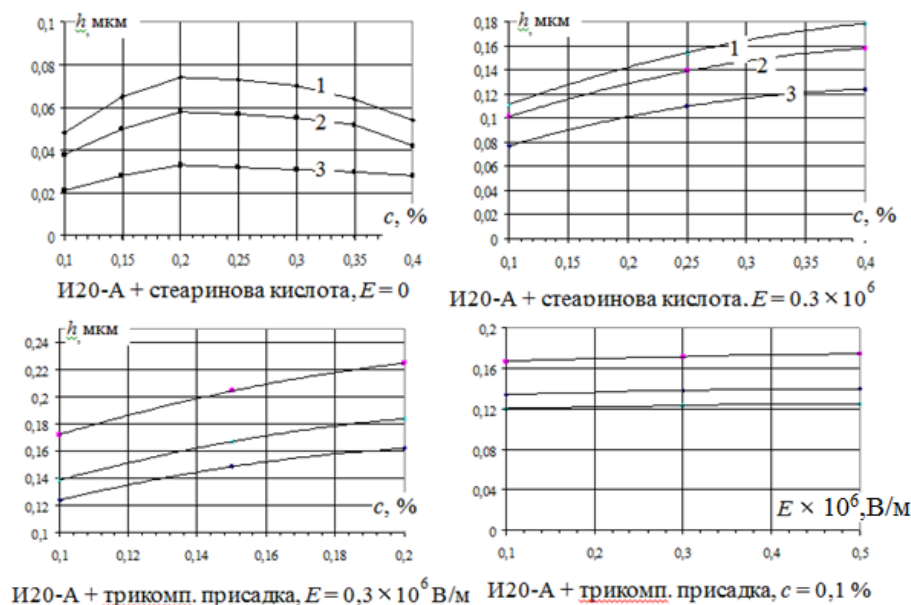


Рис. 3. Дослідження впливу концентрації присадки, температури та напруженості поля на товщину РК плівки (1 – 40 °C; 2 – 60 °C; 3 – 80 °C) [4]

В ідеалі формування граничної плівки має відбуватися із впорядкованих пелюсток присадки. Але в реальних умовах при фізичній адсорбції присадки реалізується другий варіант формування граничної плівки, де міцели "блокують" адсорбцію та перешкоджають формуванню полімолекулярного шару. Таке явище обумовлюється, окрім наявності міцел, стрімким падінням напруженості силового поля поверхні.

Головна задача – створити умови для формування граничної плівки із впорядкованих пелюсток та, за рахунок цього, забезпечити на заданому рівні трибологічні властивості цієї плівки.

Для руйнування міцел та інтенсифікації адсорбційного процесу обробимо мастильне середовище електростатичним полем. Міцели під впливом цього поля руйнуються з подальшим створенням мономерів, димерів, макродіполів.

Дослідження впливу концентрації присадки та напруженості поля на товщину граничної плівки показало, що збільшення концентрації присадки та напруженості поля дозволяють збільшити товщину граничної плівки.

## Висновки

Проведено пошук і аналіз літературних та інших джерел з даної теми. Було відмічено, що недостатньо вивчено властивості холестеричних рідких кристалів в якості присадок до олів і мастил.

Напрямок подальших досліджень обрано пошук раціональних концентрацій холестеричних рідкокристалічних присадок (а саме холестеринових ефірів) в мастильних матеріалах будівельних, колійних машин і транспортних засобів з урахуванням робочих температур в парах тертя цих машин і температур фазових переходів обраних нами рідкокристалічних речовин.

## Список літератури

1. Посвятенко Е.К. Поліпшення надійності важких транспортних машин технологічними методами / Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, Н.І. Посвятенко // ВЕЖПТ. – 2010. – № 12(63). – С. 50-53.
2. Levchenko V.A. Epitropic liquid crystals – a new liquid phase / V.A. Levchenko // Journal of Molecular Liquid. – 2000. – № 1-2. – P. 197-210.
3. Гриценко М.І. Фізика рідких кристалів / М.І. Гриценко. – К.: Академія, 2012. – 272 с.
4. Лыиков Е.Н. Перспективы использования жидких кристаллов в качестве присадок для улучшения эксплуатационных свойств жидких смазочных сред путевых и строительных машин / Е.Н. Лыиков, С.В. Воронин // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2008. – № 91. – С. 101-109.
5. Wazynska B. Tribological properties of nematic and smectic liquid crystalline mixtures used as lubricants / B. Wazynska, J.A. Okowiak // Tribol. Lett. – 2006. – № 24. – P. 1-5.
6. Tribological properties of parffin oil doped with liquid crystalline mezogenes / B. Wazynska, J.A. Okowiak, S. Kolacz, A. Malysa // Opto-Electronics Rev. – 2008. – № 16. – P. 267-270.

7. Годлевский В.А. Поверхностные явления и мезоморфизм / В.А. Годлевский, Н.В. Усольцева. – Иваново: Ивановский государственный университет, 2011. – 179 с.
8. Лысиков Е.Н. Влияние наноструктур присадки на трение и износ в технических системах / Е.Н. Лысиков, С.В. Воронин // *Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 1. – Материалы VIII Международного симпозиума. – М.: РАН, 2013. – С. 143-151.*
9. Усольцева Н.В. Трибология и мезоморфизм / Н.В. Усольцева, О.Б. Аكوпова // *Физика, химия и механика трибо-систем. – 2011. – № 10. – С. 14-23.*
10. Аналитическое описание структурированного смазочного слоя / Е.В. Березина, В.А. Годлевский, А.Г. Железнов, Д.С. Фомичёв // *Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2014. – № 1. – С. 74-79.*
11. Противоизносные свойства присадок некоторых жидкокристаллических соединений / В.Н. Латышев, М.А. Колбашов, В.В. Новиков, С.А. Сырбу // *Материаловедение и надежность триботехнических систем. – 2009. – С. 11-15.*
12. Voronin S.V. The research of tribological characteristics of smectic layer of boundary film / S.V. Voronin, V.O. Stefanov // *Проблеми трибології. – 2014. – № 2(72). – С. 58-64.*
13. Ермаков С.Ф. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем / С.Ф. Ермаков. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 380 с.
14. Tichi J.A. Lubrication theory for nematic liquid-crystals / J.A. Tichi // *Tribol. Trans. – 1990. – № 33. – P. 363-370.*
15. Liquid Crystals in Tribology / F. Carrión, G. Martines-Nicolás, P. Iglesias, J. Sanes, M. Bermúdez // *International Journal of Molecular Sciences. – 2009. – № 10. – P. 4102-4115.*
16. Boschkova K. Frictional properties of lyotropic liquid crystalline mesophases at surfaces / K. Boschkova, J. Elvesjo, B. Kronberg // *Colloid Surf. A-Physicochem. Eng. Asp. – 2000. – № 166. – P. 67-77.*
17. Астахнович Н.В. Жидкие кристаллы и их применение в технике / Н.В. Астахнович, Е.А. Бардацкий, С.А. Манего // *Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 20–22 апреля 2016 г. – Белорусский национальный технический университет. – С. 18-19.*
18. Mori S. Relationship between tribological performance of liquid crystals and their molecular structure crystals / S. Mori, H. Iwata // *Tribol. Int. – 1996. – № 29. – P. 35-39.*
19. Nano-tribological properties and mechanisms of the liquid crystal as an additive / M.W. Shen, J.B. Luo, S.Z. Wen, J.B. Yao // *Chin. Sci. Bull. – 2001. – № 46. – P. 1227-1232.*
20. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования / А.В. Анцупов, В.П. Анцупов. – Магнитогорск: МГТИ им. Г.И. Носова, 2013. – 293 с.

## References

1. Posvyatenko, E.K., Kravchenko, S.O. and Posvyatenko, N.I. (2010), “*Polipshennya nadijnosti vazhkih transportnih mashin tehnologichnimi metodami*” [Improving reliability of transport vehicles with technological methods], *EEJAT*, No. 12(63), pp. 50-53.
2. Levchenko, V.A. (2000), Epitropic liquid crystals – a new liquid phase, *Journal of Molecular Liquid*, No. 1-2, pp. 197-210.
3. Gricenko, M.I. (2012), “*Fizika ridkih kristaliv*” [Physics of liquid crystals], *Akademiya*, Kyiv, 272 p.
4. Lysikov, E.N. and Voronin, S.V. (2008), “*Perspektivy ispolzovaniya zhidkih kristallov v kachestve prisadok dlya uluchsheniya ekspluatacionnyh svojstv zhidkih smazochnyh sred putevyh i stroitelnyh mashin*” [Prospects of liquid crystals as additives to improve the performance of liquid lubricants for cars and construction machines], *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, No. 91, pp. 101-109.
5. Wazynska, B. and Okowiak, J.A. (2006), Tribological properties of nematic and smectic liquid crystalline mixtures used as lubricants, *Tribology Letters*, No. 24, pp. 1-5.
6. Wazynska, B., Okowiak, J.A., Kolacz, S. and Malysa, A. (2008), Tribological properties of parffin oil doped with liquid crystalline mezogenes, *Opto-Electronics Review*, No. 16, pp. 267-270.
7. Godlevskij, V.A. and Usolceva, N.V. (2011), “*Poverhnostnye yavleniya i mezomorfizm*” [Surface phenomena and mesomorphism], *Ivanovo State University, Ivanovo*, 179 p.
8. Lysikov, E.N. and Voronin, S.V. (2013), “*Vliyanie nanostruktur prisadki na trenie i iznos v tehniceskikh sistemah*” [Effect of nanostructures on friction and wear in technical systems], *Fundamental and Applied Problems of Science: proceedings of the VIII international symposium*, Vol. 1, pp. 143-151.
9. Usolceva, N.V. and Akopova, O.B. (2011), “*Tribologiya i mezomorfizm*” [Tribology and mesomorphism], *Physics, Chemistry and Mechanics of Tribological Systems: university collection of scientific works*, No. 10, pp. 14-23.
10. Berезина, E.V., Godlevskij, V.A., Zheleznov, A.G. and Fomichyov, D.S. (2014), “*Analiticheskoe opisanie strukturirovannogo smazochnogo sloya*” [Analytical description of the structured lubricating layer], *Liquid Crystals and Their Practical Use*, No. 1, pp. 74-79.
11. Lатышев, V.N., Kolbашov, M.A., Novikov, V.V. and Сырбу, S.A. (2009), “*Protivoiznosnye svojstva prisadok nekotoryh zhidkokristallicheskih soedinenij*” [Anti-wear properties of additives of some liquid crystal compounds], *Materiology and Reliability of Tribological Systems: Collection of Scientific Works*, Ivanovo, pp. 11-15.

12. Voronin, S.V. and Stefanov, V.O. (2014), The research of tribological characteristics of smectic layer of boundary film, *Problems of Tribology: International Scientific Journal*, No. 2(72), pp. 58-64.
13. Ermakov, S.F. (2012), “*Tribologiya zhidkokristallicheskih nanomaterialov i sistem*” [Tribology of liquid crystal nanomaterials and systems], Belarus science, Minsk, 380 p.
14. Tichi, J.A. (1990), Lubrication theory for nematic liquid-crystals, *Tribology Transactions*, No. 33, pp. 363-370.
15. Carrion, F., Martinez-Nicolas, G., Iglesias, P., Sanes, J. and Bermudez, M. (2009), Liquid Crystals in Tribology, *International Journal of Molecular Sciences*, No. 10, pp. 4102-4115.
16. Boschkova, K., Elvesjo, J. and Kronberg, B. (2000), Frictional properties of lyotropic liquid crystalline mesophases at surfaces, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, No. 166, pp. 67-77.
17. Astahnovich, N.V., Bardackij, E.A. and Manego, S.A. (2016), “Zhidkie kristally i ih primeneniye v tehnikе” [Liquid crystals and their application in engineering], *New directions for the development of instrument making: materials of the 9th International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students, April 20–22, 2016*, Minsk, Vol. 2, pp. 18-19.
18. Mori, S. and Iwata, H. (1996), Relationship between tribological performance of liquid crystals and their molecular structure crystals, *Tribology International*, No. 29, pp. 35-39.
19. Shen, M.W., Luo, J.B., Wen, S.Z. and Yao, J.B. (2001), Nano-tribological properties and mechanisms of the liquid crystal as an additive, *Chinese Science Bulletin*, No. 46, pp. 1227-1232.
20. Ancupov, A.V. and Ancupov, V.P. (2013), “*Obespecheniye nadezhnosti uzlov treniya mashin na stadii proyektirovaniya*” [Ensuring the reliability of friction units of machines at the design stage], MGTI named G.I. Nosov, Magnitogorsk, 293 p.

Надійшла до редколегії 30.11.2018

Схвалена до друку 12.12.2018

**ідомості про авторів:**

**Information about the authors:**

**Воронін Сергій Володимирович**

доктор технічних наук доцент завідувач кафедри  
Українського державного університету  
залізничного транспорту,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8443-3222>

**Sergey Voronin**

Doctor of Technical Sciences Associate Professor  
Head of Department of  
Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8443-3222>

**Аношкіна Наталія Миколаївна**

аспірант Українського державного університету  
залізничного транспорту,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8923-8493>

**Nataliia Anoshkina**

Doctoral Student of Ukrainian State University  
of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8923-8493>

**Горбачов Микита Валерійович**

аспірант Українського державного університету  
залізничного транспорту,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9048-4736>

**Nikita Gorbachov**

Doctoral Student of Ukrainian State University  
of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9048-4736>

**Куп'янський Сергій Дмитрович**

аспірант Українського державного університету  
залізничного транспорту,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2596-8694>

**Sergey Kupyanskiy**

Doctoral Student of Ukrainian State University  
of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2596-8694>

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ И ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

С.В. Воронин, Н.Н. Аношкина, Н.В. Горбачев, С.Д. Купянский

*В статье рассмотрены перспективные жидkokристаллические вещества, приведены их химические и физические свойства, обоснована целесообразность их применения в качестве присадок к смазочным материалам мобильных машин. Проведен поиск и анализ уже существующих исследований применения жидkokристаллических присадок. Влияние холестерических жидких кристаллов на процесс трения изучено в не полной мере. Выбрано направление дальнейших исследований, а именно поиск рациональных концентраций холестерических жидkokристаллических присадок в смазочных материалах машин и механизмов.*

**Ключевые слова:** жидкие кристаллы, присадки, смазочные материалы, трение, холестерики.

## USE OF LIQUID-CRYSTALLINE COMPOUNDS AS ANTIFRICTION AND ANTIWEAR ADDITIVES FOR LUBRICANTS

S. Voronin, N. Anoshkina, N. Gorbachov, S. Kupyanskiy

*Reduction of equipment deterioration is an important task of modern tribology. Modern machines and mechanisms contain a lot of rubbing parts. The simplest and most effective way to reduce their wear is to use lubricants, but under high temperatures and other harmful factors, the properties of oils and greases deteriorate over time. To The production sector has developed and successfully used a large variety of additives. They help reduce wear, increase lubricating efficiency, reduce the dependence of viscosity on temperature, etc. Scientists are still searching for other substances that could act as additives. They are actively exploring liquid crystals. Combining the properties of a fluid (fluidity) and a solid body (anisotropy), these substances form boundary films on the surface, which have a high carrying capacity and, at the same time, low friction in their balls. There are different types of liquid crystals. According to the method of production, there are thermotropic and lyotropic liquid crystals. According to the location of molecules, there are three main types: nematics, smectics, and hollesters. Each type of liquid crystal has its own properties. The article discusses liquid crystal substances that could be used as additives, tells about their chemical and physical properties, and explains the expediency of their use as lubricant additives. In addition to choosing additives, the article considers ensuring their active participation in the formation of polymolecular boundary films. The author of the article has conducted a search and analysis of literary sources on this topic, and found out that the effect of cholesteric liquid crystals on the friction process has not been sufficiently investigated. Thus the scientific investigation deals with the search for optimal concentrations of cholesteric liquid-crystalline additives in lubricants used for construction equipment and vehicles, taking into account the working temperatures in the friction pairs of these mechanisms and the temperature of phase transitions of the chosen liquid crystals.*

**Keywords:** liquid crystals, additives, lubricants, friction, cholesterics.