

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Хмельницький національний університет

**Геннадій Сіренко**  
**Марія Складанюк**  
**Владислав Свідерський**  
**Наталія Шмальцер**

**Фізико-хімічні та механічні властивості  
мастильних олив під час надвисоких  
тисків та температур**

Монографія

Івано-Франківськ - 2023

УДК 539.216; 543.32/.34; 543.38;669.056.9;621.894; 539.893;  
35.514+36.513+39.3382.32+39.5282.32  
ББК 22.25+36.513+35.514  
С 40

*Затверджено на засіданні вченої ради факультету природничих наук  
(протокол № \_\_ від 23 лютого 2023 р.)*

#### **А в т о р и:**

**Сіренко Геннадій Олександрович**, заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії технологічних наук України, доктор технічних наук, професор (м. Івано-Франківськ).

**Складанюк Марія Богданівна**, кандидат фізико-математичних наук, (м. Івано-Франківськ).

**Свідерський Владислав Петрович**, кандидат технічних наук, доцент (м. Хмельницький).

**Шмальцер Наталія Володимирівна**, аспірантка, (м. Івано-Франківськ).

#### **Сіренко Г.О.**

С 40. Сіренко Г.О., Складанюк М.Б., Свідерський В.П., Шмальцер Н.В. Фізико-хімічні та механічні властивості мастильних олив під час надвисоких тисків та температур: Монографія / За ред. Г.О. Сіренка. – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2023, 335 с. – Літ. 414. – Форм. 355. – Рис. 100. – Табл. 69.

ISBN

У монографії подані результати дослідження мастильних матеріалів на основі рослинних олій, мінеральних, нафтових тощо олив перфторетерних рідин та водних розчинів рідкого скла.

Розглянуті технічні проблеми використання нафтових та полігліколевих олив для мащення ущільнювальних елементів компресорів надвисокого тиску; обґрунтовано використання полігліколевих олив, рослинних олій та їх хімічних модифікацій як перспективних мастильних матеріалів для надвисокого тиску; розраховано гідродинамічні ефекти та нанотовщини мастильного шару; досліджено антифрикційні властивості мастильних композицій на основі оксиетильованої та сульфурованої ріпакової олії.

Монографія адресується науковим і технічним працівникам та студентам як науковий та навчальний посібник по матеріалознавству і математичним методам у наукових дослідженнях.

УДК 539.216; 543.32/.34; 543.38;669.056.9;621.894; 539.893;  
35.514+36.513+39.3382.32+39.5282.32  
ББК 22.25+36.513+35.514

Всі права застережені  
All rights reserved

ISBN

© Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника., 2023.

© Хмельницький національний університет, 2023.

© Сіренко Г.О., 2023.

© Складанюк М.Б., 2023

© Свідерський В.П., 2023

© Шмальцер Н.В., 2023

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	13
1.1. Науковий зміст і сутність проблеми.....	13
1.2. Технічний зміст і сутність проблеми.....	23
Висновки до розділу 1.....	32
<b>РОЗДІЛ 2. МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ (РІДИНИ) ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ..</b>	33
Вступ до розділу 2.....	33
2.1. Хімічна структура, фізико-хімічні та інші властивості досліджених рідин.....	33
2.2. Обґрунтування вибору рослинних олій та їх хімічних модифікацій як перспективних рідин для створення ефективних наноплівки під час динамічного контакту при надвисокому тиску.....	45
2.2.1. Сировинна база рослинних олій антифрикційного призначення.....	46
2.2.2. Фізико-хімічні властивості рослинних олій.....	48
2.2.3. Екологічна безпека рослинних олій.....	52
Висновки до розділу 2.....	53
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ МАСТИЛЬНИХ РІДИН</b> .....	54
3.1. Густина рідин.....	54
3.2. В'язкісно-температурні властивості рідин.....	54
3.3. Електронні мікроскопічні дослідження.....	54
3.4. ІЧ-спектральний аналіз.....	54
3.5. ЯМР-спектроскопія.....	55
3.6. Стисливість рідин.....	56
3.7. Антифрикційні випробування рідин, що утворюють наноплівки на поверхнях твердих тіл.....	56
3.7.1. Обґрунтування вибору точкового контакту випробувань властивостей наноплівки при надвисоких тисках.....	56

3.7.2. Випробування на навантажувальну здатність наноплівки.....	59
3.7.3. Випробування на захисні властивості наноплівки щодо зношування контактних поверхонь сталі.....	61
3.7.4. Дослідження захисних властивостей наноплівки щодо зносу поверхонь металів, стопів та полімерних матеріалів на трибометрі ХТІ-85 М.....	63
3.7.5. Розробка нового методу визначення навантажувальної здатності наноплівки у критичному стані при надвисокому тиску під час динамічного контакту твердих тіл.....	65
3.8. Математична обробка результатів досліджень.....	66
3.8.1. Перевірка нульової гіпотези $H_0$ про підпорядкування емпіричних розподілів теоретичному нормальному закону розподілу Гауса.....	66
3.8.2. Кореляційний аналіз.....	71
3.8.3. Регресійний аналіз.....	74
3.8.4. Математичне планування і аналіз експериментів.....	75
Висновки до розділу 3.....	80
<b>РОЗДІЛ 4. ОЦІНКИ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ ТА РОЗРАХУНОК ТОВЩИН НАНОПЛІВОК ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ: ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПІДХІД .....</b>	<b>81</b>
4.1. Оцінки гідродинамічних ефектів (теоретична частина).....	81
4.2. Експериментальна частина.....	88
4.2.1. Дослідження залежності адіабатної стисливості рідин від в'язкості та температури.....	88
4.2.2. Вибір оцінки гідродинамічних ефектів та розрахунок товщини наноплівки.....	91
Висновки до розділу 4.....	94
<b>РОЗДІЛ 5. ЗВ'ЯЗОК КРИТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЗАХИСНИХ ФУНКЦІЙ НАНОПЛІВОК ЩОДО ЗНОСУ ПОВЕРХОНЬ КОНТРТІЛА ІЗ В'ЯЗКІСНО-ТЕМПЕРАТУРНИМИ ПАРАМЕТРАМИ</b>	<b>97</b>

<b>РІДИН</b> .....	
Вступ до розділу 5.....	97
5.1. Критерії комплексної оцінки в'язкісно-температурних властивостей мастил .....	97
5.2. В'язкісно-температурні властивості рідин .....	101
5.3. Розрахунки та аналіз результатів оцінок за в'язкісно-температурними показниками.....	109
5.4. Кореляційний зв'язок між показниками в'язкісно-температурних властивостей рідин та критичними навантаженнями і параметрами захисних функцій наноплівки.....	113
Висновки до розділу 5.....	121
<b>РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ ТА ТОВЩИН НАНОПЛІВОК У КРИТИЧНОМУ СТАНІ ТА ЇХ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЩОДО ЗНОСУ ПОВЕРХОНЬ ТВЕРДИХ ТІЛ ПІД ЧАС ДИНАМІЧНОГО КОНТАКТУ ПРИ НАДВИСОКИХ ТИСКАХ</b> .....	123
6.1. Неорганічна рідина – калієве рідке скло.....	123
6.2. Органічні рідини – перфлуорполіетери.....	147
6.3. Мінеральні оливи.....	157
6.4. Навантажувальна здатність та захисні властивості наноплівок, сформованих з мінеральних і нафтових олив, полігліколевих, синтетичних органічних та високов'язких рідин на поверхнях сталі ШХ-15.....	172
6.4.1. Полігліколі.....	172
6.4.2. Захисні властивості наноплівок, сформованих з нафтової оливи (Risella-33) та полігліколевих рідин – статистичного кополімеру оксидів пропілену та етилену (Лапрол 2502-2-70) і лінійного поліпропіленгліколю (Лапрол 2002) на надтвердих металокерамічних матеріалах ВК-6 і ВК-11, під час динамічного контакту при надвисоких тисках.....	178

6.4.3. Нафтові оливи.....	181
6.4.4. Синтетичні органічні рідини.....	183
Висновки до розділу 6.....	191
<b>РОЗДІЛ 7. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ХІМІЧНО МОДИФІКОВАНИХ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НАНОПЛІВОК НА КОНТАКТНИХ ПОВЕРХНЯХ ТВЕРДИХ ТІЛ.....</b>	<b>194</b>
7.1. Порівняльні властивості наноплівок, утворених з рослинних олій в критичному стані.....	194
7.2. Методи хімічної модифікації рослинних олій.....	198
7.3. Технологія сульфуровування ріпакової олії.....	200
7.4. ІЧ-спектри рослинних олій.....	202
7.5. ІЧ-спектри хімічних модифікацій ріпакової олії .....	221
7.6. Аналіз ІЧ-спектрів ріпакової олії та її хімічних модифікацій після випробувань у ЧКТ під час надвисоких тисків .....	229
7.7. В'язкісно-температурні характеристики сульфурованої ріпакової олії.....	240
7.8. Властивості наноплівок на основі сульфурованої ріпакової олії під час динамічного контакту при надвисоких тисках.....	243
7.8.1. Вплив типу каталізатора сульфуровування.....	243
7.8.2. Вплив вмісту зв'язаного сульфуру в ріпаковій олії на властивості наноплівок в критичному стані.....	244
7.8.3. Властивості наноплівок з хімічно-модифікованої ріпакової олії в критичному стані.....	246
Висновки до розділу 7.....	248
<b>РОЗДІЛ 8. ОПТИМІЗАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙ НАНОПЛІВОК НА ОСНОВІ СУЛЬФУРОВАНОЇ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ ЗА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....</b>	<b>250</b>
Вступ до розділу 8.....	250
8.1. Технологія приготування рідинних композицій.....	251

8.2. Властивості наноплівки, сформованих із рідин полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової олії на поверхнях контактної пари «сталь-сталь» під час динамічного контакту при надвисокому тиску.....	252
8.2.1. Довготривалі випробування наноплівки в контакті «сталь-сталь» на ЧКТ (схема контакту «сфера-сфера»).....	252
8.2.2. Математичне планування експерименту.....	252
8.3. Властивості наноплівки, сформованих із рідин полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової олії, на поверхнях пари «ароматичний поліамід-сталь» («напівсфера-площина») під час динамічного контакту при високому тиску.....	271
8.4. Властивості наноплівки, сформованих із рідин полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової олії під час динамічного контакту на поверхнях пари «брондза-сталь» («напівсфера-площина»).....	283
Висновки до розділу 8.....	290
<b>ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>292</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....</b>	<b>296</b>

Навчально-наукове видання

*Сіренко Геннадій Олександрович*  
*Складанюк Марія Богданівна*  
*Свідерський Владислав Петрович*  
*Шмальцер Наталія Володимирівна*

**Фізико-хімічні та механічні властивості мастильних олив під час  
надвисоких тисків та температур**

Монографія

Літературний редактор – Сіренко Г.О.  
Технічний редактор – Складанюк М.Б.  
Комп'ютерна верстка – Складанюк М.Б.  
Коректор – Голіней О.М.  
Макет обкладинки - Голіней О.М.

Підписано до друку 15.08.2022. Формат 60x84/16  
Папір офсетний. Друк цифровий.  
Гарнітура «Times New Roman». Ум. друк. арк. 19.5/  
Наклад 100. Зам. №198 від 17.09.2022.

Видавець: Супрун В.П.  
77300 Україна, м. Івано-Франківськ

свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції  
Серія ДК № 4928 від 22.08.2019 р.

Друк: підприємець **Голіней О.М.**  
76008, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128  
тел.: (0342) 58-04-32, +38 050 540 30 64