


Геннадій Сіренко
Владислав Свідерський
Марія Складанюк



**Фізичні методи дослідження речовин:
Ч.ІІ. Теплофізичні методи та
властивості полімерних композитів**



Івано-Франківськ

2020

**Геннадій Сіренко
Владислав Свідерський
Марія Складанюк**

**Фізичні методи дослідження речовин:
Ч.ІІ. Теплофізичні методи та
властивості полімерних композитів**

Івано-Франківськ

2020

УДК 536.2; 536.63; 544.333; 544.022.5; 539.2164 544.77

ББК 22.37

С 40

Рекомендовано до друку Вченою Радою Факультету природничих наук ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» протокол №3 від 19.11. 2020р.

Автори:

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

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

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

Рецензенти:

Миронюк І.Ф., доктор хімічних наук, професор, (м. Івано-Франківськ);

Засна Ю.П., кандидат фізико-математичних наук, доцент, (м. Хмельницький).

С 40 Сіренко Г.О., Свідерський В.П., Складанюк М.Б. Фізичні методи дослідження речовин: Ч.ІІ. Теплофізичні методи та властивості полімерних композитів: монографічний підручник (спеціальний курс лекцій. – 2-ге вид. випр., доп.) / за ред. Г.О. Сіренка – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2020, 292 с. – Літ. 283. – Форм. 599. – Рис. 71. – Табл. 26 – 100 прим.

ISBN 978-966-8969-867

У монографічному підручнику приведений спеціальний курс лекцій. За літературними джерелами інформації та результатами власних (авторів) теоретичних та експериментальних досліджень подано: теоретичні основи теплофізичних показників (теплоємності, теплопровідності), структура полімерних композитів та її вплив на фізико-механічні властивості матеріалів, залежність теплоємності та теплопровідності полімерних композитів від природи форм, концентрації та полідисперсної фази в композиті, залежність теплопровідності композиційного матеріалу від попередньої величини інформації зразків, трибо-та фізико-механічні властивості полімерних композитів при надвисоких навантаженнях, тощо.

Для обробки результатів експериментів застосований математичний апарат моделювання випадкових величин, статистичні методи – дисперсної аналізи, кореляційної аналізи та регресійної аналізи і математичного планування експерименту, тощо.

Проведено науковий пошук залежностей теплоємності і теплопровідності твердих колоїдних систем від природи та структури моно- та пол.-компонентної дисперсної фазиси та інших чинників.

Монографічний підручник (як спеціальний курс лекцій) адресується студентам, аспірантам та викладачам вищої школи за спеціальностями: хімія, хімічна технологія, фізика, матеріалознавство, тощо.

УДК 536.2; 536.63; 544.333; 544.022.5; 539.2164 544.77

ББК 22.37

**Всі права застережені
All rights reserved**

ISBN 978-966-8969-867

© Сіренко Г.О.

© Свідерський В.П.

© Складанюк М.Б., 2020

Передмова

1. Актуальність теми монографічного підручника.

Теплопровідність, теплоємність та інші теплофізичні властивості являються одними з найважливіших характеристик складних твердих колоїдних і дисперсних систем на основі полімерів. Знання про ці характеристики таких матеріалів дозволяють обґрунтовано вибрати галузі техніки їх застосування та оптимальні температурні інтервали експлуатації виробів із таких матеріалів. На даний час не розроблено єдиної, чіткої теорії теплопровідності і теплоємності не тільки твердих дисперсних систем на основі полімерних композиційних матеріалів, а й навіть полімерів-матриці – твердого дисперсійного середовища цих систем, зокрема й гомополімерів. Це обумовлено особливостями молекулярної будови полімерів та структури твердих дисперсних систем на їх основі, значною різновидністю структурних і фізико-хімічних перетворень, а також релаксаційним характером процесів, що в них протікають. Відсутність теорії теплопровідності і теплоємності полімерів та дисперсних систем на їх основі утруднює прогнозування теплофізичних властивостей створюваних нових полімерних матеріалів.

У цих умовах актуальним залишається питання експериментального вивчення теплоємності та процесів теплопередачі, зокрема теплопровідності в цілому в твердих дисперсних системах, в яких полімерна матриця є твердим дисперсійним середовищем, а наповнювачі – порошки або волокна – твердою дисперсною фазою.

Вивчення цих процесів сприяє успішному вирішенню двоєдиного актуального завдання у розв'язанні теплофізичної проблеми полімерних композитів. З одного боку, задовольняється попит народного господарства в плані паспортизації властивостей нових матеріалів, з іншого боку, накопичення експериментальних даних про теплофізичні властивості нових полімерних твердих дисперсних систем, які відрізняються між собою за природою і структурними особливостями, сприяє створенню теорії теплоємності і теплопровідності твердих дисперсних систем. Відсутність такої теорії до початкового моменту експериментального вивчення теплофізичних властивостей твердих дисперсних систем на основі полімерів привело до того, що для теоретичної інтерпретації отриманих результатів використовувалися положення уже сформованої теорії теплоємності та теплопровідності низькомолекулярних твердих тіл.

Відомо, що теплофізичні властивості твердих дисперсних систем на основі неорганічних волокон та термотривких полімерів у значній мірі залежать від розмірів та розподілу волокон за довжинами. Залежність цих властивостей, зокрема термотрибологічних, від температури і концентрації вуглецевих волокон та графітованих порошків, які хемо-механо-активовані і мають гамма-розподіл або розподіл Вейбулла, за довжинами є маловивченою. На сьогодні не виявлений вплив параметрів розподілу нано- і мікророзмірних волокон за довжинами чи частинок нано- і мікропорошків за діаметрами. Окрім того, не вивчено розподіл частинок термотривких полімерів за розмірами і

співвідношеннями параметрів цих розподілів з розподілом вуглецевих волокон за довжинами чи частинок порошків за діаметрами.

Є актуальним вирішення завдань по встановленню закономірностей зміни фізико-механічних та теплофізичних властивостей складних твердих дисперсних систем на основі модифікованих вуглецевих волокон, дисперсних порошкових матеріалів та термотривких полімерних матриць. У зв'язку з цим доцільним є вирішення завдання опису та оптимізації таких складних твердих дисперсних систем методами моделювання, статистичним аналізом та математичного планування багаточинникового експерименту.

2. Мета та завдання дослідження:

3. Об'єкт дослідження. Складні тверді дисперсні системи на основі полімерного дисперсійного середовища та волокнистої або порошковидної дисперсної фази.

4. Предмет дослідження. Теплофізичні, фізико-механічні та термотрибологічні властивості твердих дисперсних систем на основі термотривких та теплостійких (високоміцних і високопружних) полімерів та хемо-механо-активованих нано- та мікророзмірних вуглецевих волокон і неорганічних порошків.

5. Мета монографічного підручника, разом з теоретичним матеріалом, провести дослідження в науковому пошуку залежностей теплоємності і теплопровідності складних твердих дисперсних систем на основі дисперсійного середовища – термотривких полімерних матеріалів від концентрації дисперсної фази, температури та інших чинників.

6. Для досягнення цієї мети вирішували наступні завдання:

6.1. Дати опис теоріям та моделям теплоємності та теплопровідності низькомолекулярних твердих тіл і вказати на можливість їх застосування до опису теплофізичних властивостей складних твердих дисперсних систем.

6.2. Дослідити теплоємність, теплопровідність, фізико-механічні та трибологічні властивості твердих дисперсних систем з дисперсійними середовищами – політетрафлуоретиленом, ароматичним поліамідом, поліімідом, поліоксадіазолом, полііноксалином, полібензоксазолом тощо та дисперсними фазами: низькомолекулярними та високомолекулярними вуглецевими (карбонізованими та графітованими) та базальтовими волокнами, порошками графіту та коксу, високотвердими порошковими неорганічними матеріалами.

6.3. Виявити вплив форми, розмірів частинок дисперсійного середовища та дисперсної фази та параметрів їх розподілу на теплофізичні, фізико-механічні та трибологічні властивості твердих дисперсних систем.

6.4. Дослідити теплоємність і теплопровідність для складних твердих дисперсних систем, які включають багатокомпонентне дисперсійне середовище та однокомпонентну дисперсну фазу або однокомпонентне дисперсійне середовище та багатокомпонентну дисперсну фазу.

6.5. Вивчити закономірності зношування зразків твердих дисперсних систем і їх кореляційний зв'язок з теплофізичними властивостями в залежності від типу та концентрації багатокомпонентної композиції.

6.6. Дослідити теплопровідність деформованих твердих дисперсних систем.

7. Методи досліджень: теплофізичні вимірювання теплоємності та теплопровідності, термотрибологічні випробування, електронні мікроскопічні дослідження, кореляційний і регресійний аналізи, методи математичної статистики та теорії ймовірностей, математичні методи планування та аналізу експериментів.

8. Достовірність, точність і надійність одержаних результатів забезпечені використанням комплексу взаємодоповнюючих методів фізико-хімічної аналізи, теплофізичних, фізико-механічних та трибологічних випробувань, значної кількості твердих дисперсних систем та методик досліджень, відтворюваністю результатів експериментів, застосуванням методів математичної статистики і теорії ймовірності для обробки результатів експериментів і математичного планування та аналізу експериментів і пошуку оптимальних рішень, перевіркою нульових гіпотез за теоретичними критеріями з рівнем значущості $\alpha = 0,05$ (ймовірністю правдивого рішення $p = 0,95$) та статистичними оцінками ступенів правдивості та неправдивості рішень під час застосування кореляційного та регресійного аналізів і перевірки всіх рядів вимірювань або розрахунків на відповідність нормальному закону Гауса.

9. Зв'язок монографічного підручника з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» на кафедрі хімії відповідно за тематикою та планами науково-дослідних робіт університету, а також у ДВНЗ «Хмельницький національний університет» у міжкафедральній навчально-науковій лабораторії композиційних і мастильних матеріалів та досліджень, пов'язаних з науковою тематикою Міністерства освіти і науки України «Створення нового покоління композиційних матеріалів з високим рівнем експлуатаційних характеристик» (реєстр. №0103V005788) та наукових тем з державною реєстрацією: «Розробка нових методів, процедур та критерії у теорії математичного планування та аналізу експериментів і пошуку оптимальних рішень» (реєстр. №0113U006390); «Створення нового покоління композиційних антифрикційних матеріалів на основі полімерних композитів і мастильних матеріалів на основі хімічно-модифікованих мінеральних рідин та рослинних олій» (реєстр. №0113U006315); «Наноплівки, наноматеріали та контактні явища під час високих та надвисоких тисків у динамічному контакті» (реєстр. №0113U006313).

10. Автори монографічного підручника щиро висловлюють подяку: кандидату технічних наук Черненкові М.М. та Морозову В.Г. (м. Москва) за поставку промислових зразків вуглецевих тканин та волокон, у тому числі й на замовлення авторів: кандидату хімічних наук Герасімову В.Д. (м. Володимир, РФ) за поставку зразків порошків ароматичного поліаміду, полііміду, поліфенілхіноксаліну, полібензоксазолу, поліоксадіазолу та інших термостійких полімерів тощо; старшому науковому співробітникові Гриневичу Р.В. (м. Хмельницький) та старшому науковому співробітникові Кириченко Л.М. (м. Хмельницький) за допомогу у проведенні трибологічних

випробувань; кандидату технічних наук, доценту Северіну В.М. (м. Суми) за отримання світлин поверхонь тертя методом електронної спектроскопії; доценту, кандидату технічних наук Буднику А.Ф. за співпрацю в оптимізації абразивостійкого композиту на основі теорії в'язкопружної аналогії Вольтера та використання методу варіацій.

Результати теоретичних та прикладних досліджень, що викладені у монографічному підручнику, знайшли відбиток та своє місце у докторській дисертації Г.О. Сіренка (1997) та кандидатських дисертаціях В.П. Свідерського (1981), А.Ф. Будника (1993) та Л.В. Базюк (2014), М.Б. Складанюк (2015) (науковий керівник кандидатських дисертацій був професор Г.О. Сіренко).

Теоретична частина монографії виконана та написана професором Г.О. Сіренком та доцентом В.П. Свідерським, дослідницька частина – доцентом В.П. Свідерським та професором Г.О. Сіренком, розрахункова частина та математичне моделювання, обробка результатів та оптимізація доцентами М.Б. Складанюк, Л.В. Базюк та професором Г.О. Сіренком.

*Професор Г.О. Сіренко
(провопис автора збережений)*

ВСТУП

Теплофізичні властивості, зокрема, теплопровідність і теплоємність являються одними з найважливіших характеристик дисперсних систем на основі полімерів. Знання про ці характеристики дозволяють обґрунтовано вибрати області застосування та оптимальні температурні інтервали експлуатації виробів із таких матеріалів. На даний час не розроблено єдиної, чіткої теорії теплопровідності і теплоємності не тільки колоїдних систем на основі полімерних композиційних матеріалів, а й навіть полімерів-матриці – дисперсійного середовища цих систем, зокрема й гомополімерів. Це обумовлено особливостями молекулярної будови полімерів та структури твердих колоїдних систем на їх основі, значною різновидністю структурних і фізико-хімічних перетворень, а також релаксаційним характером процесів, що в них протікають.

Відсутність теорії теплопровідності і теплоємності полімерів та дисперсних систем на їх основі утруднює прогнозування теплофізичних характеристик створюваних нових полімерних матеріалів. У цих умовах актуальним залишається питання експериментального вивчення теплоємності та процесів теплопередачі, зокрема теплопровідності в цілому в твердих дисперсних системах, в яких полімерна матриця є дисперсійним середовищем, а наповнювачі – порошки або волокна – дисперсною фазою.

Вивчення цих процесів сприяє успішному вирішенню двоєдиного актуального завдання. З одного боку, задовольняється попит народного господарства в плані паспортизації властивостей нових матеріалів, з іншого боку, накопичення експериментальних даних про теплофізичні властивості нових полімерних твердих дисперсних систем, які відрізняються між собою за природою і структурними особливостями, сприяє створенню теорії теплоємності і теплопровідності твердих дисперсних систем. Відсутність такої теорії до початкового моменту експериментального вивчення теплофізичних властивостей твердих дисперсних систем на основі полімерів привело до того, що для теоретичної інтерпретації отриманих результатів використовувалися положення уже сформованої теорії теплоємності і теплопровідності низькомолекулярних твердих тіл.

Відомо, що теплофізичні властивості твердих дисперсних систем на основі неорганічних волокон та термотривких полімерів у значній мірі залежать від розмірів та розподілу волокон за довжинами. Залежність цих властивостей, зокрема термотрибологічних, від температури і концентрації вуглецевих волокон та порошків, які хімічно-механоактивовані і мають гамма-розподіл або

розподіл Вейбулла, є маловивченою. На сьогодні не виявлений вплив параметрів розподілу нано- і мікророзмірних волокон за довжинами чи частинок нано- і мікропорошків за діаметрами. Окрім того, не вивчено розподіл частинок термостійких полімерів за розмірами і співвідношення параметрів цих розподілів з розподілом вуглецевих волокон за довжинами чи частинок порошків за діаметрами.

Є актуальним вирішення завдань по встановленню закономірностей зміни фізико-механічних та теплофізичних властивостей складних твердих дисперсних систем на основі модифікованих вуглецевих волокон, дисперсних порошкових матеріалів та термостійких полімерних матриць. У зв'язку з цим доцільним є вирішити завдання опису та оптимізації таких складних твердих дисперсних систем методами математичного планування багаточинникового експерименту.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Вибір матеріалів для дисперсійних середовищ.....	9
1.2. Вибір матеріалів для дисперсної фази.....	18
1.3. Технологія виготовлення зразків полімерних композитів на основі політетрафлуоретилену.....	19
1.4. Технологія виготовлення зразків полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду.....	21
1.5. Технологія виготовлення зразків полімерних композитів на основі ароматичного полііміду.....	21
1.6. Технологія отримання твердих мікропорошків вузької фракції.....	21
1.7. Хімічна та механічна активація вуглецевих волокон дисперсної фази полімерних композитів.....	22
1.7.1. Хімічна активація вуглецевих волокон	22
1.7.2. Механічна активація вуглецевих волокон	24
1.8. Методи досліджень.....	25
1.8.1. Дослідження фізико-механічних властивостей.....	25
1.8.2. Трибологічні випробування зразків полімерних композитів	26
1.8.3. Електронні мікроскопічні дослідження.....	29
1.8.4. Обробка результатів за методами теорії ймовірностей та математичної статистики.....	30
1.8.5. Теплофізичні випробування.....	30
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОЄМНОСТІ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ	34
2.1. Теплоємність. Означення.....	34
2.1.1. Методи обчислення кількості тепла.....	34
2.1.2. Загальне означення теплоємності. Істинна і питома	

теплоємності.....	34
2.1.3. Обчислення кількості тепла за істинною і середньою теплоємностями.....	39
2.1.4. Геометричні образи істинної і середньої теплоємностей.....	44
2.2. Ізобарна та ізохорна теплоємності. Рівняння Майєра.....	46
2.2.1. Геометричні образи ізохорної та ізобарної теплоємностей.....	46
2.2.2. Зв'язок ізобарної та ізохорної теплоємностей.....	47
2.2.2.1. Рівняння Майєра для ідеального газу.....	47
2.2.2.2. Рівняння Майєра для неідеального газу.....	58
2.3. Зв'язок теплоємності з коефіцієнтом стискуваності газу..	61
2.4. Теплоємність під час оборотнього політропного процесу ідеального газу.....	63
2.5. Диференціальні рівняння теплоємності.....	67
2.6. Залежність ізобарної та ізохорної теплоємностей від тиску та об'єму.....	74
2.7. Зв'язок теплоємності з ентропією. Диференціальні рівняння ентропії.....	77
2.8. Температурне поле.....	80
2.9. Тепловий потік. Гіпотеза Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності.....	85
2.10. Теоретичні основи та фізичні моделі теплопровідності полімерних композитів.....	90
2.10.1. Зв'язок між структурою та антифрикційними і теплофізичними властивостями.....	90
2.10.2. Вплив молекулярної будови і структури кристалічних полімерів на їх теплопровідність.....	93
2.10.3. Теплопровідність композиційних матеріалів на основі кристалічних полімерів.....	95

2.10.4. Механізми теплопередачі у складних полімерних композитах.....	96
2.10.5. Фізичні моделі для прогнозування теплопровідності полімерних композитів.....	97
2.11. Теплоємність і теплопровідність полімерів.....	104
2.12. Теплофізичні властивості полімерних композитів	112
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛУ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКОН ТА РОЗМІРІВ ЧАСТИНОК ГРАФІТІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ.....	116
3.1. Лінійний аналіз дисперсій вуглецевих волокон.....	116
3.1.1. Розподіл вихідних волокон під час подрібнення	119
3.1.2. Розподіл за довжинами вуглецевих волокон під час змішування полімерних композитів.....	120
3.1.3. Залежність показників фізико-механічних властивостей полімерних композитів на основі політетрафлуоретилену та вуглецевих волокон від параметрів об'ємного розподілу вуглецевих волокон..	123
3.2. Вплив природи та параметрів розподілу за розмірами частинок графітів на фізико-механічні властивості полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду.....	135
3.2.1. Розподіл за розмірами частинок графітів	135
3.2.2. Залежність фізико-механічних властивостей полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду від параметрів розподілу за розмірами частинок графітів.....	141
3.2.3. Залежність трибологічних властивостей полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду від параметрів розподілу за розмірами частинок графітів..	144
3.2.4. Кореляційний та регресійний аналізи.....	148
Висновки до розділу 3.....	152

РОЗДІЛ 4. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕРМОФІЗИЧНИХ	
ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА	
ОСНОВІ ТЕРМОТРИВКИХ ПОЛІМЕРІВ ВІД ВИДУ,	
ФОРМИ, ДИСПЕРСНОСТІ ТА ВМІСТУ ДИСПЕРСНОЇ	
ФАЗИ.....	154
4.1. Термофізичні властивості полімерних композитів на	
основі ароматичного поліаміду та	
політетрафлуоретилену.....	154
4.2. Термофізичні властивості полімерних композитів на основі	
ароматичного поліаміду та графітової дисперсної	
фази.....	164
Висновки до розділу 4.....	176
РОЗДІЛ 5. ЗВ'ЯЗОК ТЕРМОФІЗИЧНИХ ТА	
АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ	
КОМПОЗИТІВ З ВМІСТОМ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ	
ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ.....	178
5.1. Вплив складу полімерних композитів на основі	
ароматичного поліаміду на інтенсивність зношування та	
коефіцієнт теплопровідності.....	178
5.1.1. Планування експерименту.....	178
5.1.2. Одержання поліноміальних математичних моделей	
5.1.3. Аналіз математичних моделей за двовимірними	
перерізами та інтерпретація результатів.....	189
5.2. Залежність термофізичних властивостей від температури	
для полімерних композитів з багатокомпонентною	
дисперсною фазою на основі ароматичного	
поліаміду.....	211
5.2.1. Планування експерименту.....	211
5.2.2. Кореляційний аналіз.....	212
5.2.3. Регресійний аналіз.....	214
Висновки до розділу 5.....	212
РОЗДІЛ 6. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ДЕФОРМОВАНИХ	

ЗРАЗКІВ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІТЕТРАФЛУОРЕТИЛЕНУ.....	223
6.1. Об'єкт, мета та методологія дослідження деформації...223	
6.2. Вплив деформації на теплопровідність полімерних224	
Висновки до розділу 6.....229	
РОЗДІЛ 7. ТРИБОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОСТІЙКИХ ПОЛІМЕРІВ В УМОВАХ НАДГРАНИЧНИХ ТА ГРАНИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ...	231
7.1. Об'єкти дослідження.....231	
7.2. Результати та обговорення.....234	
7.2.1. Вплив природи та типу вуглецевого волокна на показники фізико-механічних властивостей та теплостійкість твердої колоїдної системи на основі ароматичного поліаміду.....234	
7.2.2. Вплив природи полімерної матриці та типу вуглецевого волокна на тертя та зношування без мащення.....235	
7.2.3. Залежність механічних і теплофізичних властивостей карбопластиків від об'ємної частки вуглецевих наповнювачів.....242	
7.2.4. Суміші термотривких полімерів.....244	
7.2.5. Вплив графітованих дисперсних фаз.....246	
Висновки до розділу 7.....248	
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	250
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	252

Наукове видання

Сіренко Геннадій Олександрович
Свідерський Владислав Петрович
Складанюк Марія Богданівна

Фізичні методи дослідження речовин: Ч. II.
Теплофізичні методи та властивості полімерних
КОМПОЗИТІВ

Монографічний підручник
(спеціальний курс лекцій)

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 25.11.2020. Формат 60x84/8
Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура «Times New Roman». Ум. друк. арк. 33.9
Наклад 100. Зам. №198 від 25.11.2020.

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