

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ

Кафедра теорії та технології програмування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи



Каштур О.Ф.

2018 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
МАТЕМАТИЧНА ЛОГІКА

для студентів

галузь знань **12 «Інформаційні технології»**
спеціальність **122 «Комп'ютерні науки»**
освітній рівень **бакалавр**
освітня програма **«Інформатика»**
вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання **заочна**
Навчальний рік **2018/2019**
Семестр **3**
Кількість кредитів ECTS **6**
Мова викладання, навчання
та оцінювання **українська**
Форма заключного контролю **іспит**

Викладач: д.ф.-м.н., проф. Шкільняк С.С.

Пролонговано: на 2019/2020 н.р. «18» 2019 р.
на 20 /20 н.р. « » 20 р.



КИЇВ 2018

Розробник: Шкільняк Степан Степанович, доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри теорії та технології програмування

ЗАТВЕРДЖЕНО

В.О. Завідувач кафедри теорії та технології
програмування

 (Панченко Т.В.)

Протокол № 1 від «28» 08 2018 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук та кібернетики

Протокол від «28» 08 2018 року № 1

Голова науково-методичної комісії  (Хусаїнов Д.Я.)

«28» 08 2018 року

1. Мета дисципліни – засвоєння базових знань з основ математичної логіки, включаючи вивчення семантичних моделей та формальних мов логіки, їх можливостей для опису предметних областей; вивчення формально-аксіоматичних логічних систем та систем пошуку доведень, можливостей їх застосування в прикладних областях.

2. Попередні вимоги до опанування навчальної дисципліни

1. *Знати*: базові поняття дискретної математики: основи теорії множин, теорії відношень, теорії булевих функцій.

2. *Вміти*: встановлювати основні теоретико-множинні співвідношення, використовувати апарат теорії булевих функцій.

3. Анотація навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Математична логіка» є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти галузі знань 12 „Інформаційні технології” зі спеціальності 122 „Комп’ютерні науки”, освітньо-професійної програми „Інформатика”.

Дана дисципліна є обов’язковою навчальною за *програмою “Інформатика”*.

Викладається у 3 семестрі 2 курсу в **обсязі – 180 год. (6 кредитів ECTS)**, зокрема: лекції – 11 год., практичні заняття – 6 год., консультації – 1 год., самостійна робота – 162 год. У курсі передбачено домашні контрольні завдання та 3 контрольні роботи. Завершується дисципліна – іспитом в 3 семестрі.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати основні поняття, засоби і методи математичної логіки, їх застосування в інформатиці й програмуванні; мови пропозиційної логіки та логіки 1-го порядку, їх можливості для опису предметних областей; мати сучасні уявлення про основні методи пошуку доведень та засоби логічного виведення; мати сучасні уявлення про нетрадиційні логіки (багатозначні, інтуїціоністські, модальні; темпоральні, епістемічні) та їх застосування.

вміти описувати на формальних мовах твердження стосовно тих чи інших предметних областей; встановлювати істинність та виконуваність, наявність логічного наслідку; встановлювати виразність та невиразність (використовуючи метод автоморфізмів) предикатів у моделях мови; проводити виведення в численнях гільбертівського типу, резолютивні виведення, виведення в численнях генценівського типу (секвенційних численнях).

Дисципліна "Математична логіка" є базовою для засвоєння матеріалу нормативних дисциплін "Теорія алгоритмів", "Бази даних та інформаційні системи", а також "Теорія програмування", "Системне програмування", "Інформаційні технології", "Алгебраїчні структури, криптографія та захист інформації", "Теорія прийняття рішень", "Теорія прийняття рішень", низки спецкурсів відповідного напрямку.

4. Завдання (навчальні цілі):

набуття знань, умінь та навичок (компетенцій) на рівні новітніх досягнень у математичній логіці відповідно до кваліфікації фахівців з інформаційних технологій.

Зокрема, розвивати:

СК1. Здатність до математичного та логічного мислення, формулювання та досліджування математичних моделей, зокрема дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв’язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп’ютерних наук, аналізу та інтерпретування.

СКЗ. Здатність до побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.

5. Результати навчання за дисципліною

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН1.1	<i>Знати</i> основні поняття, засоби і методи математичної логіки, їх застосування в інформатиці й програмуванні; знати мови пропозиційної логіки та логіки 1-го порядку, їх можливості для опису предметних областей.	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Домашнє контрольне завдання, контрольна робота, іспит</i>	22%
РН1.2	<i>Знати</i> основні методи пошуку доведень та засоби логічного виведення: метод резолюцій, числення гільбертівського та генценівського типу).	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Домашнє контрольне завдання, контрольна робота, іспит</i>	12%
РН1.3	<i>Знати</i> нетрадиційні логіки (багатозначні, інтуїціоністські, модальні; темпоральні, епістемічні) та мати сучасні уявлення про їх застосування в інформатиці й програмуванні.	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Домашнє контрольне завдання, контрольна робота, іспит</i>	12%
РН2.1	<i>Вміти</i> описувати на формальних мовах 1-го порядку твердження стосовно тих чи інших предметних областей; встановлювати істинність пропозиційних формул, безкванторних формул, формул 1-го порядку; встановлювати наявність логічного наслідку; встановлювати виразність та невиразність предикатів у моделях мови.	<i>практичні заняття, самостійна робота</i>	<i>Домашнє контрольне завдання, контрольна робота, іспит</i>	28%
РН2.2	<i>Вміти</i> проводити виведення в пропозиційних численнях та в першопорядкових численнях гільбертівського типу та генценівського типу (секвенційних численнях), резолютивні виведення.	<i>практичні заняття, самостійна робота</i>	<i>Домашнє контрольне завдання, контрольна робота, іспит</i>	22%
РН3.1	<i>Обґрунтовувати</i> власний погляд на задачу та спосіб її розв'язання, спілкуватися з колегами з питань застосування апарату математичної логіки	<i>практичні заняття, самостійна робота</i>	<i>Поточне оцінювання</i>	4%

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1
<i>(з опису освітньої програми)</i>						
ПРН1. Застосовувати ґрунтовні знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук	+	+	+	+		+
ПРН4. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач; оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій		+		+	+	

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів:

– семестрове оцінювання (максимальна кількість балів):

1. Контрольна робота 1: РН 1.1, РН 2.1, РН 2.2 – 10 балів / 6 балів
2. Контрольна робота 2: РН 1.1, РН 2.1 – 15 балів / 9 балів
3. Контрольна робота 3: РН 1.2, РН 1.3, РН 2.2 – 13 балів / 9 балів
4. Домашнє контрольне завдання 1: РН 1.1, РН 1.2, РН 2.2 – 6 балів / 3 бали
5. Домашнє контрольне завдання 2: РН 1.1, РН 2.1 – 6 балів
6. Домашнє контрольне завдання 3: РН 1.2, РН 1.3, РН 2.2 – 6 балів / 3 бали
7. Робота студентів на заняттях: РН 3.1 – 4 бали / 2 бали

– підсумкове оцінювання (у формі іспиту):

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом: 40 балів;
- результати навчання які будуть оцінюватись: РН 1.1 – РН 1.3, РН 2.1 – РН 2.2
- форма проведення і види завдань: письмова форма

Види завдань:

Структура екзаменаційної роботи та критерії оцінювання:

1. Теоретичне запитання (РН 1.1 – РН 1.2).
2. Теоретичне запитання (РН 1.2 – РН 1.3).
3. 6 тестових завдань (РН 2.1).
4. Письмове завдання (РН 2.1).
5. Письмове завдання (РН 2.2).

Критерії оцінювання екзаменаційної роботи

Завдання	Вид завдання	Максимальний бал (відсоток)	Всього балів (відсотків)
----------	--------------	-----------------------------	--------------------------

Завдання 1, 2	Теоретичне запитання	по 8 балів (20%)	16 балів (40%)
Завдання 3	6 тестових завдань	по 2.5 бали (6.25%)	15 балів (37.5%)
Завдання 4	Письмове завдання	4 бали (10%)	4 бали (10%)
Завдання 5	Письмове завдання	5 балів (12.5%)	5 балів (12.5%)
Всього			40 балів (100%)

Студент допускається до іспиту, якщо він під час семестру набрав не менше 30 балів, у тому числі набрав не менше 18 балів за контрольні роботи

Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів

Перелік питань для підготовки до іспиту

01. Предмет математичної логіки. Становлення та розвиток логіки. Основні закони традиційної логіки.
02. Поняття висловлення, предиката. Числення; формальні системи. Поняття логічної системи. Поняття алгоритму; алгоритмічна обчислюваність, перелічність, розв'язність.
03. Пропозиційна логіка. Композиції пропозиційного рівня (логічні зв'язки). Мова ПЛ. Тавтології.
04. Логічний (тавтологічний) наслідок, логічна (тавтологічна) еквівалентність. Теорема еквівалентності. Логічний наслідок для множин формул.
05. Пропозиційне числення. Приклади виведень в ПЧ. Теорема тавтології, наслідки ТТ. Коректність, повнота, розв'язність ПЧ.
06. Пошук виведень. Метод резолюцій для пропозиційної логіки.
07. Поняття секвенції. Секвенційні форми, секвенційні дерева. Пропозиційне секвенційне числення. Теореми коректності та повноти ПСЧ, доведення повноти методом модельних (Хінтікківських) множин.
08. Іменні множини, операції над ними. Квазіарні, фінарні, X -арні, n -арні функції. Монотонні, еквітонні функції.
09. Композиційні системи, композиційні алгебри. Композиції номінативного рівня. Реномінації. Суперпозиції. Квантори. Композиції рівності.
10. Спектр логік квазіарних предикатів.
11. Реномінативні логіки, їх мови. Неістотність предметних імен. Нормальні форми. Субтавтології.
12. Реномінативні неокласичні числення Гільбертівського та Генценівського типу, їх коректність та повнота.
13. Логіки безкванторно-функціональних рівнів.
14. Класичні логіки 1-го порядку, їх мови. Терми, формули. Вільні, зв'язані змінні. Колізії. Замкнені формули.
15. Інтерпретації мов 1-го порядку. Алгебраїчні системи (АС). Виразність предикатів, множин, функцій в АС.
16. Мова арифметики. Арифметичні предикати, множини, функції. Істинні арифметичні формули.

17. Істинність та виконуваність формул. Всюди істинні формули. Тавтології. Істинність та скінченно-істинність.
18. Тавтологічний, логічний, слабкий логічний наслідок. Відношення логічного наслідку для множин формул.
19. Логічна еквівалентність. Еквівалентні перетворення формул. Теорема еквівалентності; теореми рівності.
20. Пренексні операції. Пренексна нормальна форма. Сколемівська нормальна форма.
21. Логіки квазіарних предикатів. Неокласичні логіки еквітонних предикатів кванторного рівня; семантичні властивості; нормальні форми.
22. Логіки еквітонних предикатів функціональних рівнів.
23. Гомоморфізми, ізоморфізми, автоморфізми АС. Підсистеми. Фактор-системи; канонічний гомоморфізм.
24. Теореми про гомоморфізми, ізоморфізм. Елементарна еквівалентність, зв'язок з ізоморфізмом.
25. Теорема виразності. Доведення невиразності предикатів за допомогою автоморфізмів.
26. Теорії 1-го порядку (Th_1); логічні аксіоми і правила виведення. Приклади Th_1 ; числення предикатів 1-го порядку, формальна арифметика. Моделі Th_1 ; теорема істинності.
27. Теорема тавтології, її використання для виведень в Th_1 . Теорема дедукції.
28. Поняття несуперечливості та максимальності (повноти) теорій 1-го порядку. Теорема Лінденбаума.
29. Поняття перелічності та розв'язності теорій 1-го порядку. Теорема про розв'язність.
30. Теорема Гьоделя про повноту. Теорема компактності.
31. Теореми Льовенгейма-Сколема. Парадокси Сколема. Нестандартні моделі формальної арифметики.
32. Категоричність теорій 1-го порядку. Теорема Лося-Воота.
33. Теореми Гьоделя про неповноту, їх значення.
34. Аксиоматичні системи Гільбертівського типу першопорядкових неокласичних логік.
35. Теорема Ербрана. Метод спростування Ербрана.
36. Поняття уніфікатора; найзагальніший уніфікатор. Метод резолюцій для логік 1-го порядку.
37. Секвенційні числення класичних логік 1-го порядку. Теорема про контрмоделі, теореми коректності та повноти.
38. Секвенційні числення логік еквітонних предикатів. Теорема про контрмоделі, теореми коректності та повноти.
39. Наслідки теореми повноти секвенційних числень. Теореми компактності.
40. Інтерполяційна теорема. Семантична і синтаксична визначність. Теореми про визначність.
41. Квазіарні предикати, їх різновиди. Дуальні предикати. Класи інтерпретацій (семантики). R -, P -, T -, TR -семантики. Дуальні інтерпретації, дуальні семантики.
42. Фомалізація логічного наслідку в логіках часткових та неоднозначних предикатів. Відношення $P|=R$, $P|=T$, $P|=F$, $P|=TF$, $R|=TF$, їх властивості, співвідношення між ними.
43. Логіки вищих порядків. Теза Гільберта.
44. Нетрадиційні логіки. Багатозначні логіки. 3-значні логіки Лукасевича, Кліні; 4-значна логіка Белнапа.
45. Інтуїціоністська логіка. Семантика можливих світів (реляційна семантика). Інтуїціоністські числення.
46. Алетичні модальні логіки. Синтаксис мови, реляційна семантика. Аксиоматичні системи T , B , $S4$, $S5$.
47. Темпоральні логіки. Синтаксис мови, реляційна семантика; аксиоматичні системи.
48. Епістемічні логіки. Логіка знання з одним експертом, з n експертами. Деонтичні логіки.
49. Композиційно-номінативні модальні логіки (КНМЛ). Транзиційні КНМЛ (ТМЛ).
50. Загальні, мультимодальні, темпоральні ТМЛ.

7.2. Організація оцінювання

Терміни проведення форм оцінювання:

1. *Контрольна робота 1: до 6 тижня семестру.*
2. *Контрольна робота 2: до 10 тижня семестру.*
3. *Контрольна робота 3: до 14 тижня семестру.*

Студент має право на одне перескладання контрольної роботи із можливістю отримання максимально таких балів:

- контрольна робота 1 – 8.
- контрольна робота 2 – 12.
- контрольна робота 3 – 10.

Термін перескладання визначається викладачем.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу” від 1 жовтня 2010 року.

За активну роботу на заняттях студент може отримати до 4 балів.

7.3. Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Прак. занят.	Сам. р-та
Змістовна частина 1. Основні поняття логіки. Пропозиційна логіка. Безкванторні логіки				
1	Тема 1. Основні поняття логіки. Поняття висловлення, предиката. Основні закони традиційної логіки. Поняття числення, формальні системи <i>Самостійна робота: Софізми. Парадокси. Розвиток основних понять логіки.</i>	1		10
2	Тема 2. Пропозиційна логіка. Логічні зв'язки. Поняття тавтології. Пропозиційне числення. Теорема тавтології. <i>Самостійна робота: Композиційно-номінативний підхід до побудови програмно-орієнтованих логік.</i>	1		10
3–4	Тема 3. Пошук виведень. Метод резолюцій. Пропозиційне секвенційне числення. <i>Самостійна робота: Доведення теореми тавтології.</i>	1		10
5	Тема 4. Квазіарні функції та предикати, їх композиції. Реномінації, суперпозиції, квантори <i>Самостійна робота: Метод модельних множин.</i>		1	5
6	Тема 5. Реномінативні логіки, їх мови. Нормальні форми, субтавтології. Безкванторно-функціональні логіки. <i>Самостійна робота: Реномінативні числення.</i>		1	5
Контрольна робота № 1 (за матеріалом частини 1)				10
Всього за частиною 1		3	2	50
Змістовна частина 2. Логіки 1-го порядку				
7–8	Тема 6. Класичні логіки 1-го порядку, їх мови та семантичні моделі. Виразність в АС. Мова арифметики; арифметичність. <i>Самостійна робота: Реномінативні та безкванторно-функціональні логіки з рівністю.</i>	1		5
9	Тема 7. Істинність та виконуваність формул. Тавтологічний, логічний та слабкий логічний наслідки. <i>Самостійна робота: Класичні алгебраїчні системи, їх властивості.</i>	1		5
10	Тема 8. Еквівалентні перетворення формул, теореми еквівалентності та рівності. Пренексна нормальна форма. <i>Самостійна робота: Сколемівська нормальна форма. Сколемізація, інверсна сколемізація</i>		1	5
11	Тема 9. Гомоморфізми та ізоморфізми алгебраїчних систем. Елементарна еквівалентність. Метод автоморфізмів <i>Самостійна робота: Фактор-системи. Канонічний гомоморфізм.</i>		1	5
12–13	Тема 10. Логіки квазіарних предикатів 1-го порядку, їх мови. Неокласичні логіки еквітонних предикатів; відношення неспростовнісного логічного наслідку. <i>Самостійна робота: Теореми про гомоморфізми та ізоморфізм.</i>			5

Контрольна робота № 2 (за матеріалом частини 2)				10
Всього за частиною 2		2	2	35
Змістовна частина 3. Числення логік 1-го порядку				
14–15	Тема 11. Теорії 1-го порядку, їх приклади. Числення предикатів, формальна арифметика. Несуперечливість, повнота, розв'язність. <i>Самостійна робота:</i> Логіки квазіарних предикатів функціональних рівнів.	1		5
16–17	Тема 12. Теорема Гьоделя про повноту. Теорема компактності. Категоричність. Теореми Гьоделя про неповноту <i>Самостійна робота:</i> Теорема редукції. Синтаксичні теореми еквівалентності, рівності.	1		5
18	Тема 13. Метод резолюцій логік 1-го порядку. <i>Самостійна робота:</i> Числення Гільбертівського типу неокласичних логік 1-го порядку	1		10
19–20	Тема 14. Секвенційні числення логік 1-го порядку. <i>Самостійна робота:</i> Доведення теореми Гьоделя про повноту. Лінійні та розгалужені темпоральні логіки.	1		10
21	Тема 15. Інтерполяційна теорема. Семантична і синтаксична визначність. <i>Самостійна робота:</i> Теорема Ербрана. Використання темпоральних та епістемічних логік в інформатиці й програмуванні.		1	10
Всього за частиною 3		4	1	40
Змістовна частина 4. Нетрадиційні логіки				
22–23	Тема 16. Логіки часткових квазіарних предикатів. Відношення логічного наслідку $P \models_{IR}, P \models_T, P \models_F, P \models_{TF}, R \models_{TF}$, їх властивості <i>Самостійна робота:</i> Алгоритми знаходження найзагальнішого уніфікатора.	1		10
24–25	Тема 17. Логіки вищих порядків. Багатозначні логіки. 3-значні логіки Кліні та Лукасевича, 4-значна логіка Белнапа. Інтуїціоністська логіка <i>Самостійна робота:</i> Повнота методу резолюцій. Секвенційні числення логік функціональних рівнів. Теорема Генцена про елімінацію перетинів.	1		7
26–27	Тема 18. Модальні логіки. Алетичні, темпоральні, епістемічні, деонтичні логіки. Композиційно-номінативні модальні логіки. <i>Самостійна робота:</i> Багатозначні логіки Поста. Нечіткі логіки. Семантичні моделі та формально-аксіоматичні числення інтуїціоністської логіки		1	10
Контрольна робота № 3 (за матеріалом частин 3 та 4).				10
Всього за частиною 4		2	1	37
ВСЬОГО		11	6	162
Консультація		1		
Іспит				

Загальний обсяг– 180 год., у тому числі:

Лекцій – 11 год.,

Консультацій – 1 год.,

Практичних занять – 6 год.,

Самостійна робота – 162 год.

9. Рекомендовані джерела

Основні

1. Клини С. Математическая логика. – М.: Наука, 1973.
2. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. – М., 1976.
3. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Прикладна логіка. – К., 2013.
4. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Математична логіка та теорія алгоритмів. – К., 2008.
5. Шенфілд Дж. Математическая логика. – М., 1975.
6. Шкільняк С.С. Математична логіка: приклади і задачі. – К., 2007.

Додаткові

7. Андон Ф.И., Яшунин А.Е., Резниченко В.А. Логические модели интеллектуальных информационных систем. – К., 1999.
8. Булос Дж., Джеффри Р. Вычислимость и логика. – М., 1994.
9. Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Т.1, Т.2. – М., 1982.
10. Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л. Алгебра, языки, программирование. – К., 1978.
11. Ішмуратов А.Т. Вступ до філософської логіки. – К., 1997.
12. Капітонова Ю.В., Кривий С.Л., Летичевський О.А. та ін. Основи дискретної математики. – К., 2002.
13. Катленд Н. Вычислимость. Введение в теорию рекурсивных функций. – М., 1983.
14. Клини С. Введение в метаматематику. – М., 1957.
15. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. – М., 2001.
16. Лисовик Л.П., Редько В.Н. Алгоритмы и формальные системы. – К., 1981.
17. Лісовик Л.П., Шкільняк С.С. Теорія алгоритмів. – К., 2003.
18. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М., 1970.
19. Непейвода Н.Н. Прикладная логика. – Новосибирск, 2000.
20. Нікітченко М.С., Шкільняк С.С. Основи математичної логіки. – К., 2006.
21. Нікітченко М.С., Шкільняк О.С., Шкільняк С.С. Чисті першопорядкові логіки квазіарних предикатів // Проблеми програмування. – 2016. – № 2–3.
22. Семантика модальных и интенциональных логик. – М., 1981.
23. Справочная книга по математической логике (под ред. Дж. Барвайса): В 4 т. – М., 1982–1983.
24. Такеути Г. Теория доказательств. – М., 1978.
25. Фейс Р. Модальная логика. – М., 1974.
26. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. – М., 1983.
27. Belnap N., Steel T. The logic of questions and answers. – New Haven and London: Yale Univ. Press, 1976.
28. Gabbay D. Elementary logic (A procedural perspective). – Prentice Hall Europe, 1998.
29. Handbook of Logic in Computer Science. Edited by S. Abramsky, Dov M. Gabbay and T. S. E. Maibaum. – Oxford Univ. Press. – Vol. 1–5, 1993–2000
30. Kröger F., Merz S. Temporal logic and state systems. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.