

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК
ІМЕНІ ГЕТЬМАНА ПЕТРА САГАЙДАЧНОГО

НАУКОВИЙ ЦЕНТР СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕХНОЛОГІЯ СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
ПОВЕДІНКИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

ВБ 8

Рівень вищої освіти:	третій (освітньо-науковий)
Галузь знань:	12 Інформаційні технології
Спеціальність	25 Воєнні науки, національна безпека, безпека державного кордону
Освітня програма	126 Інформаційні системи та технології 255 Озброєння та військова техніка «Інформаційні системи та технології військового призначення» Озброєння та військова техніка Сухопутних військ
Статус дисципліни	Вибіркова
Загальний обсяг	3 кредити ЄКТС (90 год.)
Форма підсумкового контролю	Залік
Терміни викладання	3, 4 семестри
Мова викладання	Українська

Львів 2024

Робочу програму навчальної дисципліни "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем" розроблено на основі освітньо-наукових програм «Інформаційні системи та технології військового призначення», «Озброєння та військова техніка Сухопутних військ», навчальних планів підготовки здобувачів вищої освіти ступеня "доктор філософії" зі спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології», 255 «Озброєння та військова техніка» та відповідних нормативно-правових актів, керівних документів.

Розробник програми:

Богдан ВОЛОЧІЙ – працівник Збройних Сил України, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник Наукового центру Сухопутних військ.

1. Мета вивчення навчальної дисципліни

Мета вивчення навчальної дисципліни в тому, щоб надати ад'юнктам знання та розуміння можливостей перевірки концепцій і технічних рішень для складних інформаційних систем, зразків озброєння та військової техніки без створення їх фізичних аналогів і проведення їх натурних випробувань.

Для забезпечення достовірності (отримання достовірних) значень показників функціональності, ефективності та надійності задача їх визначення має бути вирішена двома методами. В основу цих методів покладено аналітичне та імітаційне моделювання об'єктів дослідження (проекування). Враховуючи цю обставину, ад'юнкти в дисципліні «Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем» вивчають технологію аналітичного стохастичного моделювання об'єктів дослідження з використанням математичного представлення у вигляді дискретно-неперервної стохастичної моделі марковського типу.

Ця дисципліна виводить ад'юнктів на постановку і розв'язання окремих завдань за темою власної дисертації.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми «Інформаційні системи та технології військового призначення» навчальна дисципліна забезпечує набуття **компетентностей:**

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні науково-прикладні задачі у сфері інформаційних систем і технологій та з дотичних до міждисциплінарних напрямів на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності

СК01. Здатність планувати та виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у ІСТ та дотичних до них міждисциплінарних напрямках з ІТ та суміжних галузей, в тому числі в інтересах Сухопутних військ Збройних Сил України.

СК03. Здатність створювати і застосовувати сучасні інформаційні технології, архітектури і спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та освітній діяльності, керувати інформаційними ресурсами, інформаційними системами та цифровими сервісами, в тому числі в інтересах Сухопутних військ Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни.

СК05. Здатність розвивати теоретичні засади, створювати моделі інформаційних технологій, проектувати та створювати інформаційні системи і цифрові сервіси та їх прототипи, в тому числі в інтересах Сухопутних військ Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни.

СК07. Здатність використовувати, досліджувати, удосконалювати та розробляти інформаційні системи та технології в задачах управління, підтримки прийняття рішень в інтересах Сухопутних військ Збройних Сил України.

СК09. Здатність обґрунтовувати вимоги щодо удосконалення процесів військового управління за рахунок впровадження інформаційних технологій та систем

під час підготовки і ведення бойових дій підрозділами Сухопутних військ Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми «Озброєння та військова техніка Сухопутних військ» навчальна дисципліна забезпечує набуття **компетентностей:**

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК 2. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК 6. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

Фахові компетентності (ФК):

ФК 2. Здатність інтерпретувати результати проведених експериментів та брати участь у дискусіях із досвідченими науковцями в сфері озброєння та військової техніки стосовно наукового значення та потенційних наслідків отриманих результатів.

ФК 4. Здатність застосовувати та удосконалювати сучасні методи моделювання та прогнозування із використанням новітніх прикладних пакетів і програмних продуктів для наукового обґрунтування та підтвердження гіпотез.

ФК 6. Здатність оцінювати ефективність виконаних наукових досліджень з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

ФК 8. Здатність обґрунтувати вимоги до зразків та комплексів озброєння та військової техніки сухопутних військ.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми «Інформаційні системи та технології військового призначення» встановлені наступні **програмні результати навчання (РН)**, якими повинен оволодіти здобувач після вивчення навчальної дисципліни:

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з ІСТ і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інноваційної діяльності, в тому числі для потреб Сухопутних військ Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні наукові дані.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері ІСТ та дотичних міждисциплінарних напрямках, в тому числі для потреб Сухопутних військ Збройних Сил України.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження інформаційних систем і технологій з використанням сучасних методів дослідження, технічних, програмних засобів та з дотриманням норм академічної і професійної етики.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми «Озброєння та військова техніка Сухопутних військ» встановлені наступні **програмні результати навчання (РН)**, якими повинен оволодіти здобувач після вивчення навчальної дисципліни:

РН 3. Планувати і виконувати теоретичні та/або експериментальні дослідження в сфері озброєння та військової техніки сухопутних військ з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників.

РН 4. Розробляти, удосконалювати та досліджувати математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань на етапах створення (модернізації), експлуатації, відновлення, випробувань озброєння та військової техніки сухопутних військ.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем» є опанування таких навчальних дисциплін:

Код та найменування навчальної дисципліни	Здобуті результати навчання
1	2
ОК 1. Теоретико-методологічні засади сучасних інформаційних систем та технологій	РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з ІСТ і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інноваційної діяльності, в тому числі для потреб Сухопутних військ Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни.
ОК 1. Загальні проблеми озброєння та військової техніки	РН 4. Розробляти, удосконалювати та досліджувати математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань на етапах створення (модернізації), експлуатації, відновлення, випробувань озброєння та військової техніки сухопутних військ.
ОК 3. Моделювання у галузі інформаційних систем та технологій	РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні наукові дані. РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні,

1	2
	математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері ІСТ та дотичних міждисциплінарних напрямках, в тому числі для потреб Сухопутних військ Збройних Сил України.
БП 2. Безпека інформаційних систем військового призначення	РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження інформаційних систем і технологій з використанням сучасних методів дослідження, технічних, програмних засобів та з дотриманням норм академічної і професійної етики.

3. Очікувані результати навчання з дисципліни

Згідно з вимогами освітньо-наукових програм встановлені наступні **результати навчання**, якими повинен оволодіти ад'юнкт після вивчення навчальної дисципліни. Отже за результатами вивчення навчальної дисципліни ад'юнкти повинні:

знати:

основні відомості про марковські випадкові процеси та дискретно-неперервні стохастичні моделі, необхідні для сприйняття технології стохастичного моделювання;

традиційну технологію розроблення стохастичної моделі експлуатаційної поведінки складних систем у вигляді дискретно-неперервної стохастичної моделі. Мати уяву про проблеми, які супроводжують її використання;

підходи до розв'язання задачі формування (компонування) виразів для визначення часово-ймовірнісних показників ефективності та надійності складних систем;

переваги удосконаленої технології розроблення моделей експлуатаційної поведінки складних систем у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи (концепція, порядок формування вербальної моделі, методика розроблення структурно-автоматних моделей);

вміти:

визначати відповідність експлуатаційної поведінки складних систем дискретно-неперервній стохастичній системі;

здійснювати формування вербальної моделі експлуатаційної поведінки складних систем;

здійснювати розроблення ймовірнісного графа експлуатаційної поведінки складної системи на основі базових подій та вектора станів;

користуватися проблемно-орієнтованим програмним засобом АСНА (Автоматизована Система Надійнісного Аналізу).

4. Осяг дисципліни і розподіл у годинах за формами організації освітнього процесу та видами навчальних занять

Семестр	Кількість кредитів ЄКТС	Кількість годин:														Самостійна робота	Форми контролю
		Аудиторних:												Години, які враховані до загального бюджету часу			
		у тому числі:															
		Загальний обсяг	Всього	Лекції	Семинарські заняття	Групові заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Групові вправи	Тактичні заняття (ТСЗ)	Контрольний захід	Польові заняття	Нічні заняття		Навчально-методичні		
3	1,4	42	14	2	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	
4	1,6	48	16	-	-	-	-	14	-	-	2	-	-	-	32	Залік	
Разом	3	90	30	2	-	12	-	14	-	-	2	-	-	-	60		

5. Програма навчальної дисципліни

№ з/п	Види навчальних занять, індивідуальні завдання та їх номери, контрольні заходи	Всього годин	Денна		Номери семестрів, назва змістового модуля (розділу), тема занять, навчальні питання
			Аудиторних годин	Самостійна робота	
1	2	3	4	5	6
Семестр 3					
Тема №1. Застосування технології стохастичного моделювання до розроблення моделей експлуатаційної функційної та надійнісної поведінки складних інформаційних систем					
1	Лекція 1/1	6	2	4	<p>Заняття 1. Про технологію стохастичного моделювання для перевірки концепцій і технічних рішень, запропонованих на етапі системотехнічного проектування складної системи, без створення її фізичного аналогу і без проведення її натурних випробувань.</p> <p>1. Етапи традиційної та удосконаленої технології аналітичного стохастичного моделювання експлуатаційної надійнісної поведінки великої кількості відмовостійких систем.</p> <p>2. Ймовірнісний граф експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>Розгляньте за конспектом матеріал заняття 1.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: <i>об'єкт дослідження; вербальна модель об'єкта дослідження; ймовірнісний граф експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем; стохастична модель експлуатаційної функційної або надійнісної поведінки складних інформаційних систем.</i></p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 3 питання:</p> <p>а) <i>За якою ознакою дискретно-неперервний випадковий процес називають марковським процесом?</i></p> <p>б) <i>За якими ознаками випадковий процес належить до дискретно-неперервних випадкових процесів?</i></p> <p>в) <i>Які етапи технології моделювання віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем виконує програмна стохастична модель?</i></p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
2	Групове заняття 1/1	5	2	3	<p>Заняття 2. Створення вербальної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>1. Відмовостійка система з однократним резервуванням для забезпечення необхідного значення показника надійності радіопередавача базової станції мобільного зв'язку.</p> <p>2. Показники надійності і функціональності складових відмовостійкої системи та параметрів її структури, які мають бути враховані в стохастичній моделі експлуатаційної поведінки відмовостійких систем.</p> <p>3. Варіанти реакції відмовостійких систем на втрату працездатності основного і резервного радіопередавачів. Засіб контролю «повідомляє» про стан тільки основного радіопередавача.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 2. РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: <i>відмовостійка система; інтенсивність відмов; наробіток до відмови; ймовірність безвідмовної роботи відмовостійкої системи за певний час; ймовірність успішного завершення процедури контролю; ймовірність успішного завершення відновлення працездатності несправного радіопередавача.</i></p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 2 питання:</p> <p>а) <i>Яка різниця між поняттями «параметр» і «показник», які ми використовуємо під час розгляду (представлення) вербальної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</i></p> <p>б) <i>Яку інформацію для розроблення структурно-автоматної моделі повинна дати вербальна модель об'єкта проектування (дослідження)?</i></p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
3	Групове заняття 1/2	5	2	3	<p>Заняття 3. Представлення вербальної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем у вигляді ймовірнісного графа з використанням еволюційного підходу до підвищення ступеня його адекватності.</p> <p>1. Ймовірнісний граф експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем. Стани і переходи ймовірнісного графа.</p> <p>2. Параметри ймовірнісного графа експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем та їх зв'язок з показниками надійності і функційності складових відмовостійкої системи.</p> <p>3. Формування системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена на основі ймовірнісного графа.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 3. РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: <i>ступінь адекватності ймовірнісного графа (повнота</i></p>

1	2	3	4	5	6
					<p><i>представлення експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем в ймовірнісному графі); стан ймовірнісного графа; перехід в ймовірнісному графі із поточного стану в наступний стан.</i></p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 2 питання:</p> <p>а) <i>Представляючи експлуатаційну надійнісну поведінку відмовостійких систем у вигляді дискретно-неперервної стохастичної моделі, з якою умовою треба погодитись (яку умову треба прийняти), якщо його математичною моделлю буде система диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена?</i></p> <p>б) <i>Що є результатом розв'язання системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена? Що вважається невідомим в системі диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена?</i></p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
4	Групове заняття 1/3	8	2	6	<p>Заняття 4. Методика розроблення ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем на основі базових подій експлуатаційної надійнісної поведінки та вектора станів.</p> <p>1. Технічні рішення, умови, припущення, гіпотези, спрощення, обмеження в представленні експлуатаційної поведінки, з урахуванням яких здійснюється розроблення її стохастичної моделі.</p> <p>2. Поняття про базові і супутні події експлуатаційної поведінки та метод їх визначення. Зведені базові події.</p> <p>3. Вектор станів ймовірнісного графа: призначення компонент вектора стану.</p> <p>4. Таблиця, як інструмент розроблення ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної поведінки.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 4.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: надійнісна поведінка відмовостійких систем; базові події експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем; зведена базова подія.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 2 питання: а) <i>За яких умов базову подію віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем називаємо (вважаємо) зведеною?</i></p> <p>б) <i>Які компоненти структурно-автоматної моделі визначають під час (в процесі) розроблення ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</i></p> <p>2. Завершіть розпочате на занятті 4 розроблення ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної поведінки відмовостійкої системи з однократним</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>резервуванням і з неперервним контролем працездатності основного радіопередавача (неперервний контроль працездатності резервного радіопередавача не передбачений – резерв холодний).</p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
5	Групове заняття 1/4	5	2	3	<p>Заняття 5. Методика розроблення структурно-автоматної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем.</p> <p>1. Призначення структурно-автоматної моделі для автоматизованої побудови ймовірнісних графів після зміни значень показників та параметрів відмовостійкої системи.</p> <p>2. Використання ймовірнісного графа для визначення компонент структурно-автоматної моделі об'єкта дослідження: для визначення ситуацій, в яких відбувається кожна базова подія, та формування логічних виразів формалізованого опису цих ситуацій; для формування правил модифікації компонент вектора станів ймовірнісного графа. Розглянути: як формується критерій «критичної відмови»?</p> <p>3. Надання універсальності структурно-автоматній моделі об'єкта дослідження: об'єднання однотипних ситуацій, в яких відбуваються базові події експлуатаційної поведінки; заміна конкретних значень параметрів структури, використаних під час розроблення ймовірнісного графа, символічними позначеннями (буквами).</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 5. РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: структурно-автоматна модель експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем; правило модифікації компонент вектора станів. РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 2 питання:</p> <p>а) <i>За якими ознаками ситуації для базової події вважаємо однотипними?</i></p> <p>б) <i>З якою метою (для чого) в логічних виразах опису (представлення) ситуацій доцільно здійснити введення буквенних позначень параметрів замість їх числових значень, з якими було здійснено розроблення ймовірнісного графа віртуальної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</i></p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
6	Групове заняття 1/5	8	2	6	<p>Заняття 6. Методика верифікації структурно-автоматних моделей експлуатаційної поведінки.</p> <p>1. Ймовірнісний граф від програмної стохастичної</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>моделі.</p> <p>2. Тестувальний ймовірнісний граф.</p> <p>3. Таблиця, як інструмент виявлення різниці між ймовірнісними графами.</p> <p>4. Пошук причин наявності зайвих станів та зайвих переходів у ймовірнісного графа від програмної стохастичної моделі.</p> <p>5. Пошук причин відсутності необхідних станів та необхідних переходів у ймовірнісного графа від програмної стохастичної моделі.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 6.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: верифікація структурно-автоматної моделі; тестувальний ймовірнісний граф; програмна стохастична модель.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 2 питання:</p> <p>а) <i>Чим обумовлена (викликана) потреба у верифікації структурно-автоматної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</i></p> <p>б) <i>Які завдання вирішуються згідно методики верифікації структурно-автоматної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</i></p> <p>2. Виконайте верифікацію розробленого на занятті 4 ймовірнісного графа.</p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
7	Групове заняття 1/6	5	2	3	<p>Заняття 7. Методика валідації розробленої дискретно-неперервної стохастичної моделі. На прикладі відмовостійкої системи з однократним резервуванням без технічного обслуговування (без відновлення) і з технічним обслуговуванням (з відновленням) в процесі експлуатації. Валідаційні дослідження стохастичної моделі.</p> <p>Валідаційні дослідження за зміною значень показника надійності основного і резервного радіопередавачів, та показників функціональності засобу вбудованого контролю та засобу перемикачів.</p> <p>Валідаційні дослідження за зміною значень показника ефективності служби технічного обслуговування та ремонту радіопередавачів.</p> <p>Валідаційні дослідження шляхом порівняння результатів отриманих з використанням розробленої стохастичної моделі з результатами отриманих з використанням іншої відомої стохастичної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням.</p> <p>Самостійна робота:</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>1. Розгляньте за конспектом матеріал заняття 7. РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Дайте тлумачення для таких понять: валідація стохастичної моделі; наробіток до відмови; ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу.</p> <p>РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Знайдіть відповіді на такі 3 питання:</p> <p>а) Чому на етапі системотехнічного проектування програмно-апаратної системи, під час розроблення стохастичної моделі її віртуальної експлуатаційної поведінки, є важливим проведення «валідації моделі»?</p> <p>б) Яке завдання вирішується під час валідації програмної стохастичної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем?</p> <p>в) Які підходи (принципи) підходять для валідаційних досліджень стохастичних моделей експлуатаційної поведінки відмовостійких систем?</p> <p>Результати самостійної роботи мають бути записані в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
Всього за тему №1		42	14	28	
Всього за 3 семестр		42	14	28	
Семестр 4					
Тема №2. Перевірка можливостей підвищити надійність роботи радіопередавача базової станції мобільного зв'язку до необхідного рівня використанням відмовостійкої системи з однократним резервуванням та із залученням служби технічного обслуговування і ремонту					
8	Лабораторне заняття 2/1	6	2	4	<p>Заняття 8. Верифікація структурно-автоматної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням (частина 1).</p> <p>Розроблення тестувального ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням і неперервним контролем працездатності основного та резервного радіопередавачів (резерв гарячий). Засіб контролю «повідомляє» про стан основного і резервного радіопередавачів. В основу методики розроблення ймовірнісного графа покладені базові події експлуатаційної поведінки та вектор станів.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками.</p> <p>2. Оформлення першої частини звіту за результатами виконаного завдання.</p> <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
9	Лабораторне заняття 2/2	6	2	4	<p>Заняття 9. Верифікація структурно-автоматної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>(частина 2). Верифікація виконується шляхом порівняння розробленого тестувального ймовірнісного графа і ймовірнісного графа, сформованого програмним засобом АСНА, на основі відповідної структурно-автоматної моделі.</p> <p>Самостійна робота:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками. 2. Оформлення другої частини звіту з результатами виконаного дослідження. <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
10	Лабораторне заняття 2/3	7	2	5	<p>Заняття 10. Перевірка можливостей відмовостійкої системи з однократним резервуванням підвищити надійність роботи радіопередавача базової станції мобільного зв'язку до необхідного рівня за показником «середнє значення тривалостей безвідмовної роботи до критичної відмови» (частина 1).</p> <p>Перевірка виконується:</p> <ol style="list-style-type: none"> а) при різних варіантах стратегії відновлення (заміни, ремонту) несправних радіопередавачів; б) для двох станів радіопередавача, що перебуває в резерві (гарячий, холодний). в) при значеннях показників функціональності складових відмовостійкої системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикавання», «ймовірність успішного відновлення» рівних одиниці. <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Завдання 1.</i> Необхідно перевірити чи може ресурс працездатності одного радіопередавача із заданим значенням показника його надійності «інтенсивність відмов» забезпечити його безвідмовну неперервну роботу протягом N годин без ремонту? 2. <i>Завдання 2.</i> Необхідно перевірити чи може експлуатаційний ресурс працездатності двох радіопередавачів із заданим значенням показника їх надійності «інтенсивність відмов», включених в структуру описаної вище відмовостійкої системи, забезпечити безперебійну роботу базової станції мобільного зв'язку протягом N годин без ремонту. <p><i>Ознайомлення з структурно-автоматною моделлю 1.02САМ. Структурно-автоматна модель 1.02САМ віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням, з обмеженою кількістю відновлень, призначена для формування програмної стохастичної моделі 1.02см після завантаження в програмний засіб АСНА. Значення показників функціональності складових відмовостійкої</i></p>

1	2	3	4	5	6
					<p>системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення» дорівнює одиниці. Стан обох радіопередавачів, основного і того що перебуває в резерві, контролюється засобом вбудованого контролю і після відмови відновлюється (ремонтується) працівниками служби ремонту.</p> <p>3. <i>Завдання 3.</i> Необхідно визначити при якому максимальному значенні затрат часу на відновлення (середнє значення тривалостей відновлення) несправних радіопередавачів T_v, що включає в себе затрати часу ремонтника на дорогу і тривалість ремонту (кваліфікація ремонтника), середнє значення тривалостей безвідмовної неперервної роботи відмовостійких систем відповідає, згідно варіанту, встановленій вимозі. Кількість ремонтів необмежена.</p> <p><i>Ознайомлення з структурно-автоматною моделлю 1.01САМ. Структурно-автоматна модель 1.01САМ</i> віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням, з <i>необмеженою</i> кількістю відновлень призначена для формування програмної стохастичної моделі 1.01см після завантаження в програмний засіб АСНА. Значення показників функціональності складових відмовостійкої системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення» дорівнює одиниці.</p> <p>Самостійна робота:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками. 2. Оформлення першої частини звіту за результатами виконаних досліджень. <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
11	Лабораторне заняття 2/4	7	2	5	<p>Заняття 11. Перевірка можливостей відмовостійкої системи з однократним резервуванням підвищити надійність роботи радіопередавача базової станції мобільного зв'язку до необхідного рівня за показником «середнє значення тривалостей безвідмовної роботи до критичної відмови» (частина 2).</p> <p>Перевірка виконується:</p> <ol style="list-style-type: none"> а) при різних варіантах стратегії відновлення (заміни, ремонту) несправних радіопередавачів; б) для двох станів радіопередавача, що перебуває в резерві (гарячий, холодний). в) при значеннях показників функціональності складових відмовостійкої системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення»

1	2	3	4	5	6
					<p>рівних одиниці.</p> <p>1. <i>Завдання 4.</i> Необхідно визначити при якому середньому значенні затрат часу на відновлення працездатності несправного радіопередавача, що включає в себе тривалість ремонту і затрати часу ремонтника на дорогу, середнє значення тривалостей безперебійної роботи відмовостійких систем відповідає встановленому значенню N.</p> <p>2. <i>Завдання 5.</i> Необхідно визначити мінімальну кількість ремонтів, які забезпечують встановлену згідно варіанту вимогу до середнього значення тривалостей безперебійної роботи відмовостійких систем N при заданих затратах часу на відновлення.</p> <p>3. <i>Завдання 6.</i> Необхідно визначити максимальне значення інтенсивності відмов радіопередавача, яке забезпечить встановлену згідно варіанту вимогу до середнього значення тривалостей безвідмовної роботи відмовостійких систем з однократним резервуванням.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками.</p> <p>2. Оформлення другої частини звіту за результатами виконаних досліджень.</p> <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
12	Лабораторне заняття 2/5	6	2	4	<p>Заняття 12. Валідаційні дослідження програмної стохастичної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем за показником «ймовірність безвідмовної роботи для заданої тривалості експлуатації» (частина 1).</p> <p>Валідаційні дослідження виконуються:</p> <p>а) при змінюванні значень показників надійності основного і резервного радіопередавачів;</p> <p>б) при змінюванні значень показників функціональності засобу вбудованого контролю та засобу перемикання.</p> <p>1. <i>Завдання 1.</i> Досліджується вплив збільшення інтенсивності відмов основного радіопередавача на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p><i>Ознайомлення з структурно-автоматною моделлю 1.04САМ. Структурно-автоматна модель 1.04САМ</i> віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням, з обмеженою кількістю відновлень призначена для формування програмної стохастичної моделі 1.04см після завантаження в програмний засіб АСНА. Значення показників функціональності складових відмовостійкої системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення» будь-яке від нуля до одиниці для урахування неуспішного контролю, неуспішного</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>перемикання та неуспішного відновлення. Стан радіопередавача, який перебуває в резерві, не контролюється. А отже після відмови не відновлюється (не ремонтується).</p> <p>2. <i>Завдання 2.</i> Досліджується вплив збільшення інтенсивності відмов радіопередавача, що перебуває в резерві, на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>3. <i>Завдання 3.</i> Досліджується вплив зменшення якості (функціональності) засобу вбудованого контролю на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>4. <i>Завдання 4.</i> Досліджується вплив зменшення якості (функціональності) засобу перемикання на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>Самостійна робота:</p> <p>1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками.</p> <p>2. Оформлення першої частини звіту за результатами виконаних досліджень.</p> <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
13	Лабораторне заняття 2/6	8	2	6	<p>Заняття 13. Валідаційні дослідження програмної стохастичної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем за показником «ймовірність безвідмовної роботи для заданої тривалості експлуатації» (частина 2).</p> <p>Валідаційні дослідження виконуються:</p> <p>а) при змінюванні значень показників ефективності служби технічного обслуговування та ремонту радіопередавачів;</p> <p>б) при порівнянні показників надійності отриманих з використанням програмної стохастичної моделі 1.04см з показниками отриманими з використанням іншої відомої стохастичної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням.</p> <p>1. <i>Завдання 5.</i> Досліджується вплив зменшення тривалості відновлення несправного радіопередавача на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>2. <i>Завдання 6.</i> Досліджується вплив зменшення якості ремонту несправного радіопередавача на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>3. <i>Завдання 7.</i> Досліджується вплив збільшення кількості запланованих ремонтів несправного радіопередавача на значення показника надійності відмовостійкої системи.</p> <p>4. <i>Завдання 8.</i> Для валідації програмної стохастичної моделі 1.04см можна використовувати порівняння часткового результату, отриманого від цієї моделі, з результатом, отриманим за допомогою відомої стохастичної моделі.</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>В якості відомої стохастичної моделі використаємо програмні стохастичні моделі 1.02см і 1.03см.</p> <p>Частковим результатом від програмної стохастичної моделі 1.04см називаємо значення показника надійності відмовостійкої системи при значеннях показників функціональності її складових «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення» рівних одиниці.</p> <p><i>Ознайомлення з структурно-автоматною моделлю 1.03САМ. Структурно-автоматна модель 1.03САМ</i> віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням, з обмеженою кількістю відновлень, призначена для формування програмної стохастичної моделі 1.03см після завантаження в програмний засіб АСНА. Значення показників функціональності складових відмовостійкої системи «ймовірність успішного контролю», «ймовірність успішного перемикання», «ймовірність успішного відновлення» дорівнює одиниці. Стан радіопередавача, який перебуває в резерві, не контролюється. А отже після відмови радіопередавач не відновлюється (не ремонтується).</p> <p>5. <i>Завдання 9.</i> Для валідації програмної стохастичної моделі 1.04см використаємо оцінювання (дослідження) тенденції зміни значень показника надійності після підвищення ступеня адекватності моделі.</p> <p>Самостійна робота:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками. 2. Оформлення другої частини звіту за результатами виконаних досліджень. <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p>
14	Лабораторне заняття 2/7	6	2	4	<p>Заняття 14. Синтез значень показників надійності і функціональності складових відмовостійкої системи з однократним резервуванням та з відновленням (технічним обслуговуванням та ремонтом) в процесі їх експлуатації.</p> <p>Самостійна робота:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підготовка до виконання завдань дослідження за методичними вказівками. 2. Оформлення звіту за результатами виконаного завдання. <p>Звіт має бути записаний в робочому зошиті по вивченню дисципліни.</p> <p>Підготовка до заліку.</p>

1	2	3	4	5	6
Всього за тему №2		46	14	32	
Залік					
15	Контрольний захід	2	2	—	ЗАЛІК
Всього за залік		2	2	—	
Всього за 4 семестр		48	16	32	
Разом		90	30	60	

6. Форми поточного та підсумкового контролю та засоби діагностики результатів навчання

За дисципліною "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем" передбачені наступні види контролю:

Поточний контроль проводиться з метою забезпечення зворотного зв'язку між викладачем і здобувачами у процесі навчання, перевірка готовності здобувачів до виконання наступних навчальних завдань, а також забезпечення керування їх навчальною мотивацією.

Самоконтроль призначений для самооцінки здобувачами якості засвоєння навчального матеріалу з дисципліни і може здійснюватися у формі відповідей на питання для самоконтролю.

Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку в обсязі навчального матеріалу, визначеного робочою програмою навчальної дисципліни.

№ з/п	Види контролю	Засоби діагностики успішності навчання
1.	поточний	усне опитування, письмовий контроль, самостійне опрацювання письмових завдань, винесених на самопідготовку. Є складником поточної оцінки ПК _{по} . Результат враховується при вирахуванні оцінки за поточний контроль (ПК _{пз})
2.	самоконтроль	відповіді на питання для самоконтролю, які містяться у завданнях на самопідготовку по кожному заняттю.
3.	підсумковий	залік

7. Критерії оцінювання результатів навчання

Поточний контроль оцінюється за чотирибальною шкалою і заноситься до журналу обліку навчальних занять:

«відмінно» – якщо здобувач показав глибокі знання програмного матеріалу із поставлених питань, грамотно і логічно доповідає, обґрунтовано приймає рішення;

«добре» – якщо здобувач твердо знає програмний матеріал, грамотно доповідає, при цьому не допускає суттєвих неточностей при відповіді на питання, правильно використовує отримані знання;

«задовільно» – якщо здобувач має знання тільки основного матеріалу із

поставлених питань, але не засвоїв його деталей, не допускає грубих помилок у відповіді, потребує в окремих випадках уточнень або навідних питань, рішення, в основному, приймає вірно, але потребує допомоги, допускає окремі помилки;

«незадовільно» – якщо здобувач допускає грубі помилки у відповіді на поставлені питання, не може використати отримані знання на практиці, допускає грубі помилки.

Оцінка, яка виставляється здобувачу за залік, визначається за формулою:

$$З = ПК + КЗ,$$

де ПК – кількість балів поточного контролю;

КЗ – кількість балів за контрольний захід (залік).

Перерахунок результатів поточного контролю у 100-бальну шкалу для врахування при проведенні заліку здійснюється наступним чином.

- максимальна кількість балів, що відводяться для оцінювання результатів поточного контролю, становить 50 балів;

- визначається середня арифметична оцінка результатів поточного контролю здобувача $O_{ПКi}$ за підсумками навчання – $O_{ПК\Sigma}$:

$$O_{ПК\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n O_{ПКi}}{n},$$

де n – кількість оцінок, отриманих здобувачем на заняттях протягом вивчення дисципліни;

- кількість балів поточного контролю визначається на формулою:

$$ПК = 10 \cdot O_{ПК\Sigma}.$$

При цьому незадовільні оцінки враховуються як 0 (нуль) балів.

При проведенні заліку підготовка здобувача оцінюється за 100-бальною шкалою, шкалою ECTS та за 4-бальною шкалою (табл.).

Таблиця трансформації оцінок

100 бальна шкала	Шкала ЄКТС	Оцінка за розширеною шкалою	Національна шкала
90 – 100	A	відмінно	відмінно
80 – 89	B	дуже добре	добре
65 – 79	C	добре	
55 – 64	D	задовільно	задовільно
50 – 54	E	достатньо	
1 – 49	FX	незадовільно	незадовільно

Критерії оцінювання знань і вмінь здобувача за результатами вивчення навчального матеріалу навчальної дисципліни:

A – оцінка "відмінно" (90 – 100 балів) виставляється за високий рівень знань, що міститься в основних і додаткових рекомендованих джерелах, вміння аналізувати процеси (явища), які вивчалися, у їхньому взаємозв'язку і розвитку, чітко, лаконічно, логічно, послідовно відповідати на поставлені запитання;

B – оцінка "дуже добре" (80 – 89 балів) виставляється за знання навчального матеріалу вище середнього рівня, включаючи аргументовані відповіді на поставлені запитання (можлива невелика кількість неточностей);

С – оцінка *"добре"* (65 – 79 балів) виставляється за правильне розуміння навчального матеріалу, включаючи аргументовані відповіді на поставлені питання, які, однак, містять певні (несуттєві) недоліки;

Д – оцінка *"задовільно"* (55 – 64 балів) виставляється за посередні знання навчального матеріалу, недостатньо аргументовані відповіді;

Е – оцінка *"достатньо задовільно"* (50 – 54 балів) виставляється за слабкі знання навчального матеріалу, неточні або недостатньо аргументовані відповіді, з порушенням послідовності його викладення;

FX – оцінка *"незадовільно"* (1 – 49 балів) з можливістю повторного складання заліку, виставляється за незнання значної частини навчального матеріалу, суттєві помилки у відповідях на питання.

8. Методи і форми викладання навчального матеріалу, обладнання та програмне забезпечення

Основними методами та навчальними техніками, які будуть використовуватись під час викладання курсу є: пояснювально-ілюстративний, системний, проблемно-пошуковий, мозковий штурм, дискусія.

9. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.
2. Волочій Б.Ю. Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем. Конспект лекційних занять, 2024.
3. Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2012. - 128 с.
4. ПУТІВНИК до проектного завдання «Аналіз надійності відмовостійкої системи з однократним резервуванням з використанням програмної стохастичної моделі її експлуатаційної надійнісної поведінки» (часткові завдання 1, 2, 3, 4). / укл. Волочій Б.Ю., 2024.

Додаткова література

5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
6. Демидов Б.А., Луханин М.И., Величко А.Ф., Науменко М.В. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники, 2011.
7. Сальник Ю.П., Волочій Б.Ю. Стохастична модель функціональної поведінки охоронної системи об'єкта критичної інфраструктури / Сучасні інформаційні

- системи. – Т. 5, № 1. – Харків: Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, 2021. – С. 18 – 33.
8. V. Yakovenko, B. Volochiy et al. “Building a model of the process of shooting a mobile armored target with directed fragmentation-beam shells in the form of a discrete-continuous stochastic system”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 4 (114), pp. 51–63, Dec. 2021.
 9. Грабчак В.І., Сальник Ю.П., Волочій Б.Ю. / Дискретно-неперервна стохастична модель функціонування системи аналізу, узагальнення та впровадження досвіду застосування військ (сил) / *Військово-технічний збірник*. – Випуск № 24. – Львів: НАСВ, 2021. – С. 64 – 72.
 10. Волочій Б.Ю., Якубенко В.М., Сальник Ю.П., Змисний М.М. Дослідження впливу старіння модулів ядра відмовостійкої системи мажоритарного типу на значення показників її надійності / Системи управління, навігації і зв'язку. – Випуск 1 (63). – Полтава: Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”, 2021. – С. 36 – 44.
 11. Волочій Б., Якубенко В., Сальник Ю., Чернишук П. Програмна стохастична модель експлуатаційної поведінки відмовостійких систем мажоритарного типу з правилом голосування {3 із 5} // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2021. – Вип. 1, №2. – С. 94 – 113.
 12. Волочій Б., Чернишук П., Сальник Ю., Онищенко В. Дискретно-неперервна стохастична модель експлуатаційної надійної поведінки комплексу охоронної сигналізації // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2022. – Вип. 2, № 2. – Р. 102–122.
 13. Волочій Б.Ю., Кушик А.О., Сальник Ю.П., Онищенко В.А., Казан П.І. Метод усунення надмірної затримки у вузлі комутації інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення в умовах бойового застосування // *Військово-технічний збірник*. – Львів: Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2022. – Випуск № 26. – С. 3 – 12.
 14. Федасюк Д.В., Волочій С.Б. Методика розроблення структурно-автоматних моделей відмовостійких систем з альтернативними продовженнями випадкових процесів після процедур контролю, перемикання і відновлення / Д. В. Федасюк, С. Б. Волочій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – Львів: вид-во Львівської політехніки. – 2017. – № 864. – С. 49 – 62.
 15. Volochiy B., Zmysnyi M., Kulyk I., Leonchuk V., Onyshchenko V. Synthesis of components effectiveness factors of guard signaling complex with layout of three seismic sensors in control zone and with majority principle of taking decisions // Proceedings 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018, February 20 - 24. – Lviv, 2018, pp. 92 – 97. – S1, Paper ID 346.
 16. Anastasiia Strielkina, Serhiy Volochiy, Vyacheslav Kharchenko. Discrete-Continuous Stochastic Model of Insulin Pump Functioning for Health IoT System

- Using Erlang Phase Method // Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops, Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019. – P. 793 – 808.
17. Strielkina A., Volochiy B., Kharchenko V., Volochiy S. Model of Functional Behavior of Healthcare Internet of Things Device Using Erlang Phase Method // Communications in Computer and Information Science / Germany, Springer, Volume 1175. 2020. P. 277 – 301.
 18. Б.Ю. Волочій, В.А. Онищенко, Л.Д. Озірковський, В.В. Хахула. Дослідження можливостей підвищення ефективності виявлення безпілотних літальних апаратів. *Військово-технічний збірник*. Львів, №29/2023. С.10 - 26.
 19. Волочій Б. Ю., Онищенко В.А., Озірковський Л.Д. Програмна аналітична стохастична модель експлуатаційної функційної поведінки радіоелектронного комплексу виявлення безпілотних літальних апаратів // Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – 2023. – Vol. 3, № 2. – P. 126 –149.
 20. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. Пер. с англ. Под ред. И.А. Ушакова, 1977.