

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК  
ІМЕНІ ГЕТЬМАНА ПЕТРА САГАЙДАЧНОГО  
НАУКОВИЙ ЦЕНТР СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**ТЕХНОЛОГІЯ СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОВЕДІНКИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

Львів 2024

**Розроблено та внесено:**

Науковим центром Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені Петра Сагайдачного.

**Розробник силябусу:**

Волочій Богдан Юрійович – провідний науковий співробітник НЦ НАСВ, доктор технічних наук, професор.

<b>Назва дисципліни</b>	Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Науковий центр Сухопутних військ
<b>Шифр, найменування галузі знань, спеціальності</b>	12 Інформаційні технології 126 Інформаційні системи та технології 25 Воєнні науки, національна безпека, безпека державного кордону 255 Озброєння та військова техніка
<b>Викладач</b>	Волочій Богдан Юрійович – провідний науковий співробітник НЦ СВ НАСВ, доктор технічних наук, професор
<b>Контактна інформація</b>	<a href="mailto:bvolochiy@ukr.net">bvolochiy@ukr.net</a>
<b>Консультації до дисципліни</b>	Проводяться кожного тижня в межах семестру (час проведення узгоджується з ад'юнктами)
<b>Інформація про дисципліну</b>	Інформаційна технологія, яку ад'юнкти вивчають в дисципліні "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем", призначена для перевірки концепцій і технічних рішень складних систем без створення їх фізичних аналогів і проведення їх натурних випробувань. Згідно з Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.08.2017 № 600-р така технологія відноситься до критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки. Дисципліна викладається у 3 та 4 семестрі в обсязі 3 кредитів ЄКТС.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	<p>Дисципліна "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем" надає ад'юнктам знання та навички практичного використання математичного апарату дискретно-неперервних стохастичних систем для розроблення аналітичних стохастичних моделей віртуальної експлуатаційної поведінки складних систем (радіоелектронних інформаційних систем, інформаційних мереж зв'язку, радіоелектронних комплексів). З використанням таких моделей показані можливості для розв'язання задач аналізу та синтезу.</p> <p>Експлуатаційна поведінка складних систем має два аспекти: функційний та надійнісний. Моделювання експлуатаційної функційної поведінки складних систем має на меті в першу чергу забезпечити можливість перевірки ефективності запропонованих (придуманих) або відомих концепцій і технічних рішень в умовах їх майбутньої реальної експлуатації. Моделювання експлуатаційної надійнісної поведінки стосується відмовостійких систем і має на меті розв'язання задач їх надійнісного проектування. Тобто визначення вимог до додаткових засобів (надлишковості), які треба ввести в систему для забезпечення заданого значення показників її надійності шляхом надання складній системі властивостей відмовостійкості та живучості.</p> <p>Вивчення технології розпочинається з ознайомлення з методом простору станів на прикладі відмовостійкої системи з однократним резервуванням. Для практичного розв'язання задач функціонального та надійнісного проектування складних систем вивчається технологія моделювання, в якій автоматизовано наступні етапи:</p> <p>а) побудова моделей експлуатаційної поведінки складних систем у вигляді ймовірнісного графа;</p> <p>б) формування і розв'язання систем диференціальних рівнянь</p>

	<p>Колмогорова-Чепмена; в) визначення і представлення показників ефективності та (або) надійності.</p> <p>Основна увага приділяється вивченню методики розроблення структурно-автоматних моделей експлуатаційної поведінки досліджуваних складних систем та практичного їх застосування.</p> <p>Розглянута технологія моделювання дозволила автоматизувати процес розв'язання задач системотехнічного проектування складних систем. Ад'юнктам надана можливість освоїти програмний засіб АСНА-2, який є інструментом для проведення досліджень.</p>
<p><b>Мета та цілі дисципліни</b></p>	<p>Традиційне оцінювання якості технічних рішень, прийнятих під час розроблення складної системи, проводиться шляхом спостереження за її роботою (фіксування певних подій, що будуть відбуватися) під час реальної експлуатації. Наприклад, для оцінювання якості технічних рішень по забезпеченню складній системі властивості відмовостійкості потрібно зафіксувати тривалості безвідмовної роботи під час експлуатації багатьох екземплярів такої системи. Таке спостереження дасть змогу визначити значення показника надійності «середнє значення тривалостей безвідмовної роботи». Зазначимо, що в державному стандарті України ДСТУ 2862-94 «Методи розрахунку показників надійності» цей показник має назву «середній наробіток до відмови» (стор. 6).</p> <p>Мета вивчення дисципліни "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем" в тому, щоб надати ад'юнктам знання та розуміння можливостей перевірки концепцій і технічних рішень для складних систем без створення їх фізичних аналогів і проведення їх натурних випробувань.</p> <p>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 (проектування). Враховуючи цю обставину, ад'юнкти в дисципліні "Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем" вивчають технологію аналітичного моделювання об'єктів дослідження з використанням математичного представлення у вигляді дискретно-неперервної стохастичної моделі марковського типу.</p> <p>Ця дисципліна виводить ад'юнктів на постановку і розв'язання окремих завдань за темою власної дисертації.</p>
<p><b>Список основної та додаткової літератури</b></p>	<p><b>Основна література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.</li> <li>2. Волочій Б.Ю. Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем. Конспект лекційних занять, 2024.</li> <li>3. Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2012. - 128 с.</li> <li>4. ПУТІВНИК до проектного завдання «Аналіз надійності відмовостійкої системи з однократним резервуванням з</li> </ol>

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 надійнісної 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,

	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>18. Б.Ю. Волочій, В.А. Онищенко, Л.Д. Озірковський, В.В. Хахула. Дослідження можливостей підвищення ефективності виявлення безпілотних літальних апаратів. <i>Військово-технічний збірник</i>. Львів, №29/2023. С.10 - 26.</p> <p>19. Волочій Б. Ю., Онищенко В.А., Озірковський Л.Д. Програмна аналітична стохастична модель експлуатаційної функційної поведінки радіоелектронного комплексу виявлення безпілотних літальних апаратів // <i>Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія</i>. – 2023. – Vol. 3, № 2. – P. 126 –149.</p> <p>20. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. Пер. с англ. Под ред. И.А. Ушакова, 1977.</p>
<b>Тривалість курсу</b>	90 год.
<b>Обсяг курсу</b>	28 годин аудиторних занять, у тому числі: 2 години лекція, 12 годин групових занять, 14 годин лабораторних занять; 60 годин самостійної роботи; 2 години залік.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Згідно з вимогами <b>освітньо-наукової програми «Інформаційні системи та технології військового призначення»</b> встановлені наступні програмні результати навчання (РН), якими повинен оволодіти здобувач після вивчення навчальної дисципліни:</p> <p>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.</p> <p>РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень,</p>

	<p>математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні наукові дані.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Згідно з вимогами <b>освітньо-наукової програми «Озброєння та військова техніка Сухопутних військ»</b> встановлені наступні програмні результати навчання (РН), якими повинен оволодіти здобувач після вивчення навчальної дисципліни:</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Теми</b>	Див. додаток А (схема курсу).
<b>Підсумковий контроль</b>	Залік
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватись під час викладання дисципліни</b>	<p>Усне викладення матеріалу дисципліни в поєднанні з демонстрацією (показом).</p> <p>Презентації.</p> <p>Комп'ютерний клас для проведення практичних занять.</p>
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду діяльності)</b>	<p>Результати поточного контролю оцінюються за чотирибальною шкалою і заносяться до журналу обліку навчальних занять.</p> <p>Перерахунок результатів поточного контролю у 100-бальну шкалу для врахування при проведенні контрольних заходів здійснюється з урахуванням того, що кількість балів, які відводяться для оцінювання результатів поточного контролю, становить 50 балів при проведенні заліку.</p> <p>Підсумкове оцінювання результатів навчання ад'юнктів з навчальної дисципліни складається із суми балів, отриманих за результатами поточного контролю та контрольного заходу за 100-бальною шкалою та національною шкалою.</p>
<b>Академічна доброчесність</b>	<p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі ад'юнкти відвідують лекційні, групові та лабораторні заняття дисципліни.</p>
<b>Питання контрольного заходу</b>	Див. додаток Б
<b>Опитування</b>	З метою оцінювання якості викладання кожному ад'юнкту буде надана анкета, для заповнення після завершення вивчення дисципліни.

**Схема курсу «Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки складних систем»**

Кількість годин ауд./самоств.	Тема	Результати навчання	Завдання
14/28	<p>Тема № 1.</p> <p>Застосування технології стохастичного моделювання до розроблення моделей експлуатаційної функційної та надійнісної поведінки складних інформаційних систем</p>	<p>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>Створення вербальної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем</p> <p>Представлення вербальної моделі віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем у вигляді ймовірнісного графа з використанням еволюційного підходу до підвищення ступеня його адекватності.</p> <p>Методика розроблення ймовірнісного графа віртуальної експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем на основі базових подій експлуатаційної надійнісної поведінки та вектора станів.</p> <p>Методика розроблення структурно-автоматної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем.</p> <p>Методика верифікації структурно-автоматних моделей експлуатаційної поведінки.</p> <p>Методика валідації розробленої дискретно-неперервної стохастичної моделі.</p>	<p>Письмові відповіді на контрольні питання по темі</p>
14/32	<p>Тема № 2.</p> <p>Перевірка можливостей підвищити надійність роботи радіопередавача базової станції мобільного зв'язку до необхідного рівня використанням відмовостійкої системи з однократним резервуванням та із</p>	<p>Верифікація структурно-автоматної моделі експлуатаційної надійнісної поведінки відмовостійких систем з однократним резервуванням.</p> <p>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».</p> <p>Валідаційні дослідження програмної стохастичної моделі експлуатаційної</p>	<p>Письмові відповіді на контрольні питання по темі</p>

Кількість годин ауд./самоств.	Тема	Результати навчання	Завдання
	залученням служби технічного обслуговування і ремонту	<p>надійнісної поведінки відмовостійких систем за показником «ймовірність безвідмовної роботи для заданої тривалості експлуатації».</p> <p>Синтез значень показників надійності і функціональності складових відмовостійкої системи з однократним резервуванням та з відновленням (технічним обслуговуванням та ремонтом) в процесі їх експлуатації.</p>	
28/60	Залік – 2 год		Білет

**Питання для проведення заліку з навчальної дисципліни  
«Технологія стохастичного моделювання експлуатаційної поведінки  
складних систем»**

1. Яку умову треба прийняти до уваги при формуванні дискретно-неперервної стохастичної моделі експлуатаційної поведінки складних систем у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена?

2. З чим пов'язана поява зведених базових подій при розробленні структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки складних систем?

3. Сформулюйте правило запису диференціального рівняння для стану, користуючись моделлю у вигляді ймовірнісного графа експлуатаційної поведінки складних систем.

4. Опишіть всі ситуації (опис словесний), за яких відбувається базова подія «Відмова резервного радіопередавача» у відмовостійкій системі з однократним резервуванням, в якій передбачено технічне обслуговування з необмеженою кількістю ремонтів.

5. Зобразіть і прокоментуйте часове представлення дискретно-неперервного випадкового процесу.

6. Які завдання вирішуються в процесі верифікації структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки складних систем?

7. Якими засобами у використаній в проектному завданні структурно-автоматній моделі експлуатаційної поведінки відмовостійких систем з радіопередавачами відображена надійність пристрою перемикавання?

8. Поясніть суть виразу: «експлуатаційна поведінка складних систем не передбачає в ймовірнісному графі поглинаючого стану» або «експлуатаційна поведінка складних систем передбачає в ймовірнісному графі поглинаючий стан».

9. Навіть етапи розроблення дискретно-неперервної стохастичної моделі віртуальної експлуатаційної поведінки складних систем, згідно традиційної технології аналітичного стохастичного моделювання.

10. Яке обмеження накладає на експлуатаційну поведінку складної системи її модель у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи марковського типу?

11. Чим викликана потреба верифікації структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки складних систем?

12. За якої умови дискретно-неперервний випадковий процес можна інтерпретувати як марковський процес?

13. Назвіть умови, за яких стає можливим представлення експлуатаційної поведінки складних систем у вигляді дискретно-неперервної стохастичної моделі.

14. Яку функцію у відмовостійких системах з радіопередавачами виконує засіб вбудованого контролю?

15. Яку перевагу має удосконалена технологія аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем над традиційною?

16. Поясніть, чому середнє значення тривалостей роботи до критичної відмови у відмовостійких системах з радіопередавачами залежить від стану резервного радіопередавача?

17. Який принцип покладено в основу методики, за якою необхідно проводити верифікацію структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки систем?

18. За якої умови дискретно-неперервна стохастична система належить до стохастичних систем марковського типу?

19. Назвіть і прокоментуйте етапи розроблення стохастичної моделі експлуатаційної поведінки систем, згідно удосконаленої технології аналітичного стохастичного моделювання.

20. Які компоненти визначаються при розробленні структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки систем?

21. Чим обумовлена необхідність при розробленні ймовірнісного графа експлуатаційної поведінки систем розрізняти базові та супутні події?