

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**  
**Факультет пожежної безпеки**  
**Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ  
В ПОЖЕЖНІЙ БЕЗПЕЦІ»**

**для здобувачів третього (доктор філософії) рівня вищої освіти  
галузь знань 26 «Цивільна безпека»,  
спеціальність 261 «Пожежна безпека»**

Харків 2024

Рекомендовано до друку  
кафедрою пожежної  
профілактики в населених  
пунктах НУЦЗ України  
(протокол № 19 від 18.06.2024р.)

**Укладачі:** Н.В. Рашкевич Ю.А. Отрош

**Рецензенти:** доктор технічних наук, професор **М. Г. Сур'янінов**,  
завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної  
академії будівництва та архітектури

**Методичні** вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни  
«Системний аналіз та моделювання в пожежній безпеці» для здобувачів  
третього (доктор філософії) рівня вищої освіти галузь знань 26 «Цивільна  
безпека», спеціальність 261 «Пожежна безпека», 3 курс, 5 семестр /  
Укладачі: Н.В. Рашкевич, Ю.А. Отрош. Х.: НУЦЗУ, 2024. 75 с.

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| Вступ  | 4   |
| Практичне заняття № 1 Основні напрямки системних досліджень: системний підхід, теорія систем, системний аналіз | 5   |
| Практичне заняття № 2 Математичні аспекти системного аналізу   | 19  |
| Практичне заняття № 3 Підходи та моделі у системному аналізі. Формальні моделі складних систем                 | 29  |
| Практичне заняття № 4 Теорія прийняття рішень. Інформація та управління.                                       | 36  |
| Практичне заняття № 5 Основні методи рішення завдань моделювання   | 45  |
| Практичне заняття № 6 Контроль правильності моделі   | 52  |
| Практичне заняття № 7 Функціональна модель системи пожежної безпеки  | 56  |
| Практичне заняття № 8 Основні моделі пожеж щодо визначення початкової стадії загоряння                         | 61  |
| Практичне заняття № 9 Інтегральні моделі для розрахунку небезпечних факторів пожежі                            | 70  |
| Практичне заняття № 10 Зонні та польові для розрахунку небезпечних факторів пожежі                             | 75  |
| Практичне заняття № 11, 12 Програмно-моделюючий комплекс Pathfinder – моделювання процесу рятування людей      | 80  |
| Практичне заняття № 13 Програмно-моделюючий комплекс PyroSim – моделювання процесу рятування людей             | 85  |
| Практичне заняття № 14, 15 Застосування багатофункціонального програмного комплексу ліра-сапр                  | 91  |
| Практичне заняття № 16 Модульна контрольна робота  | 100 |

## ВСТУП

**Мета навчальної дисципліни** – формування та засвоєння навичок й знань щодо системного аналізу та сучасних наукових концепцій, методів та технологій розробки і застосування математичних моделей для проведення досліджень складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.

**Завдання навчальної дисципліни** є надання теоретичних та практичних навичок щодо освоєння методів системного аналізу, теорій, сучасних методів моделювання які дають можливість досліджувати складні об'єкти та процеси у сфері забезпечення пожежної безпеки. У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен отримати:

уміння/навички:

– спеціалізовані уміння/навички і методи, необхідні для розв'язання значущих проблем у сфері професійної діяльності, науки та/або інновацій, розширення та переоцінки вже існуючих знань і професійної практики;

– започаткування, планування, реалізація та коригування послідовного процесу ґрунтового наукового дослідження з дотриманням належної академічної доброчесності;

– критичний аналіз, оцінка і синтез нових та комплексних ідей.

комунікації:

– вільне спілкування з питань, що стосуються сфери наукових та експертних знань, колегами, широкою науковою спільнотою, суспільством в цілому.

відповідальність та автономію:

– демонстрація значної авторитетності, інноваційності, високий ступінь самостійності, академічна та професійна доброчесність, послідовна відданість розвитку нових ідей або процесів у передових контекстах професійної та наукової діяльності.

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1**

### **ОСНОВНІ НАПРЯМКИ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД, ТЕОРІЯ СИСТЕМ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ**

#### **Література:**

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Уйюмов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
3. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
4. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
5. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
6. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

#### **Мета заняття:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними поняттями та визначеннями системного підходу та системного аналізу, що застосовуються під час наукових досліджень у сфері пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань щодо системного аналізу для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **Питання для обговорення:**

1. Основні поняття системних досліджень.
  - 1.1. Поняття дослідження.
  - 1.2. Характеристики, типологія дослідження.
  - 1.3. Стадії та етапи досліджень.
2. Основні напрямки системних досліджень.
  - 2.1. Загальна теорія систем.
  - 2.2. Системний підхід.
  - 2.3. Системний аналіз.

#### **Теоретична частина:**

##### **1. Основні поняття системних дослідження.**

###### **1.1. Поняття дослідження.**

Дослідження – це вид діяльності людини, що складається з:

- а) розпізнаванні проблем і ситуацій;
- б) визначенні їх походження;
- в) виявленні властивостей, змісту, закономірностей поведінки та розвитку;
- г) встановлення місця цих проблем і ситуацій в системі накопичених знань;
- д) знаходженні шляхів, засобів і можливостей використання нових уявлень та знань про дану проблему в практиці її дозволу.

Ці ознаки дослідження знаходяться в певному співвідношенні, що цілі та завдання наукової діяльності.

Наукові дослідження є головним чинником підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки.

Дослідження можна розглядати як стиль функціонування системи управління пожежною безпекою. Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту – сукупність заходів суб'єкта управління з обстеження, аналізу й оцінки стану пожежної безпеки об'єкту захисту, прийняття, організації та контролю виконання управлінських рішень для забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту.

Термін «**системні дослідження**» означає метод дослідження, при якому не передбачається глибоке занурення в окремі фізичні явища, а мається на увазі загальне розуміння поведінки складних фізичних систем, що складаються з безлічі окремих явищ, і вивчення зв'язків і взаємодії між компонентами таких систем.

Спільними завданнями системних досліджень є аналіз і синтез систем. У процесі аналізу система виділяється з середовища, визначається її склад, структури, функції, інтегральні характеристики (властивості), а також системоутворюючі чинники та взаємозв'язку із середовищем. У процесі синтезу створюється модель реальної системи, підвищується рівень абстрактного опису системи, визначається повнота її складу та структур, бази опису, закономірності динаміки та поведінки.

У системному дослідженні аналізований об'єкт розглядається як певну множину елементів, взаємозв'язок яких зумовлює цілісні властивості цієї множини. Основний акцент робиться на виявленні різноманіття зв'язків і відносин, що мають місце як усередині досліджуваного об'єкта, так і в його взаєминах із зовнішнім оточенням, середовищем. Властивості об'єкта як цілісної системи визначаються не тільки і не стільки підсумовуванням якостей її окремих елементів, скільки властивостями його структури, особливими системоутворюючими, інтегративними зв'язками розглянутого об'єкта.

Специфіка системного дослідження визначається не ускладненням методів аналізу (у даному разі ці методи можуть навіть піддаватися спрощенню), а висуванням нових принципів підходу до об'єкта вивчення, нової орієнтації всього руху дослідника. У найзагальнішому вигляді ця орієнтація виражається в прагненні побудувати цілісну картину об'єкту і характеризується такими положеннями:

1. При дослідженні об'єкта як системи опис елементів не носить самодостатнього характеру, оскільки елемент описується не як такої, а з урахуванням його місця в цілому.

2. Один і той же матеріал, субстрат, виступає в системному дослідженні як що володіє одночасно різними характеристиками, параметрами, функціями і навіть різними принципами будови. Одним з проявів цього є ієрархічність будови систем, причому той факт, що всі рівні ієрархії «виконані» з одного матеріалу, робить особливо важкою проблему пошуку специфічних механізмів взаємозв'язку різних рівнів (площин) системного об'єкта. Конкретної (хоча, може бути, і не єдиною) формою реалізації цього взаємозв'язку є управління.

3. Дослідження системи виявляється, як правило, невіддільним від дослідження умов її існування.

4. Специфічною для системного підходу є проблема породження властивостей цілого з властивостей елементів і, навпаки, породження властивостей елементів з характеристик цілого.

5. Як правило, в системному дослідженні виявляються недостатніми чисто причинні (у вузькому сенсі разом слова) пояснення функціонування і розвитку об'єкта; зокрема, для великого класу систем характерна доцільність як невід'ємна частина їх поведінки, а доцільне поведінка не завжди може бути укладено в рамки причинно-слідчої схеми.

6. Джерело перетворень системи або її функції лежить зазвичай в самій системі, оскільки це пов'язано з доцільним характером поведінки систем, істотна риса цілого ряду системних об'єктів полягає в тому, що вони є не просто системами, а самоорганізуючимися системами. З цим тісно пов'язана й інша особливість, притаманна багатьом системним дослідженням: у цих дослідженнях нерідко доводиться припускати наявність у системи (або її елементів) деякої безлічі індивідуальних характеристик і ступенів свободи.

Таким чином, сьогодні дослідження виступає як одна з основних функцій управління, як підхід до управління, що забезпечує якість управлінських рішень, і як засіб удосконалення управління, підвищення рівня пожежної безпеки.

Дослідження відображає позитивну тенденцію розвитку питань забезпечення пожежної безпеки. Не може бути професіоналізму без творчості, не може бути творчості без дослідження, а самого дослідження не може бути без освоєння його прийомів, методів, підходів.

## **1.2. Характеристики, типологія дослідження.**

Будь-яке дослідження має комплекс характеристик, які необхідно враховувати при його проведенні та організації. Основними з цих характеристик є наступні:

а) методологія дослідження – сукупність цілей, підходів, орієнтирів, пріоритетів, засобів та методів дослідження.

б) організація дослідження – порядок проведення, заснований на розподілі функцій та відповідальності, закріплених в регламентах, нормативи і інструкціях.

в) ресурси дослідження – комплекс засобів і можливостей (наприклад, інформаційних), що забезпечують успішне проведення дослідження та досягнення його результатів.

г) об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом є пожежна безпека об'єкту захисту, предмет – конкретна проблема, вирішення якої вимагає проведення дослідження.

д) тип дослідження – приналежність його до певного типу, що відбиває своєрідність всіх характеристик.

е) потреба дослідження - ступінь гостроти проблеми, професіоналізму в підходах до її вирішення, стиль управління, необхідність в розробках заходів та засобів забезпечення пожежної безпеки.

ж) результат дослідження – рекомендації, модель, формула, методика, що сприяють успішному вирішенню проблеми, розуміння її змісту, витоків та наслідків.

з) ефективність дослідження - співмірність використаних ресурсів на проведення дослідження і результатів, отриманих від нього.

Основні характеристики дослідження далі можуть бути конкретизовані і доповнені відповідно до правил послідовної класифікації та декомпозиції.

Дослідження можуть бути різноманітними. Необхідно бачити і розуміти це різноманітність, щоб вибрати найбільш підходящі до певної діяльності. Впорядкувати всю сукупність найрізноманітніших типів досліджень можна в матриці типологічного аналізу. Вона являє собою дихотомічне уявлення різних типів досліджень, виділених за різними критеріями. Критерії відображають основні характеристики дослідження та його практичні потреби.

Дослідження можна визначити як практичні та науково - практичні (освітні). **Практичні дослідження** призначені для швидких ефективних рішень і досягнення бажаних результатів. **Науково-практичні дослідження** орієнтовані на перспективу, більш глибоке розуміння тенденцій і закономірностей розвитку організацій, підвищення освітнього рівня працівників.

Можна будувати дослідження, в різній мірі залучаючи до його проведення апарат наукового аналізу, наукової методології. Дослідження можуть бути емпіричного характеру, тобто спиратися переважно на накопичений досвід і найближчий, безпосередній результат.

Різноманітні дослідження й по використанню ресурсів власних або залучених, по трудомісткості, тривалості, інформаційного забезпечення, організації їх проведення. У кожному конкретному випадку, виходячи з поставлених цілей, доводиться вибрати необхідний вид дослідження.

Важливим критерієм типологічного вибору дослідження є критерій інформаційного забезпечення. Можна будувати дослідження тільки на основі внутрішньої інформації, але більш глибокими є звичайно ж, дослідження із залученням великої інформації зовнішньої. Це дозволяє робити більш обгрунтовані висновки і розробляти ефективні рекомендації.

### 1.3. Стадії та етапи дослідження.

Проведення будь-якого дослідження на основі наукового апарату системного аналізу в загальному плані включає сукупність наступних послідовно виконуваних робіт:

Визначення об'єкта дослідження;

Постановка цілей, завдань і визначення критеріїв їх досягнення;

Визначення "меж" внутрішньої і зовнішньої середовища і здійснення структуризації досліджуваної системи;

Розробка моделі (параметризація, встановлення залежностей між параметрами, моделювання) системи;

Дослідження моделі системи;

Збір, обробка, аналіз інформації та узагальнення результатів;

Перевірка обгрунтованості результатів дослідження;

Остаточне формулювання результатів дослідження.

У ряді літературних джерел для загального випадку досліджень рекомендується проводити наступний склад робіт:

Постановка цілей і завдань;  
Попередній аналіз наявної інформації, умов і методів розв'язання;  
Формулювання вихідних гіпотез;  
Планування та організація експериментів;  
Проведення експерименту;  
Аналіз і узагальнення отриманих результатів;  
Перевірка вихідних гіпотез на основі отриманих фактів;  
Остаточне формулювання нових фактів і законів, обґрунтувань, наукових прогнозів і т.д.

Наведені склади робіт досліджень багато в чому ідентичні. Проте їх конкретний перелік здебільшого залежить від мети і виду проведеного дослідження, характеру, змісту і специфіки його досліджуваного об'єкта.

У процесі дослідження (з урахуванням робіт з проектування та реалізації) систем управління можна виділити наступні послідовні стадії робіт: підготовчу, дослідницько-проектну, реалізації (впровадження) і вдосконалення, що включають ряд відповідних етапів. Підготовчу стадію досліджень у випадках, що передбачають впровадження його результатів, тобто включають у тому числі виконання робіт з проектування систем і реалізації всіх проектних рішень, можна не без підстав називати передпроектною. Конкретний же склад етапів робіт кожної зі стадій дослідження систем багато в чому залежить від тих умов, в яких вони здійснюються.

Проведення досліджень здійснюється відповідно до обраної мети та в певній послідовності.

Дослідження є складовою частиною системи забезпечення пожежної безпеки і спрямовані на удосконалення її складових елементів.

## **2. Основні напрямки системних досліджень.**

### **2.1. Загальна теорія систем.**

Поняття "система" найчастіше визначається як сукупність взаємопов'язаних елементів, які визначають цілісність освіти завдяки тому, що його властивості не зводяться до властивості складових його елементів.

Головними рисами системи є: наявність різноманітних елементів, серед яких обов'язково є системоутворюючий, зв'язку та взаємодії елементів, цілісність їх сукупності (зовнішня і внутрішня середа), поєднання і відповідність властивостей елементів і їх сукупності в цілому.

У практичному використанні поняття "система" є деяка двоїстість. З одного боку, воно використовується для позначення деякого реально існуючого явища (технічного пристрою, біологічного організму, підприємства, суспільства і т. д.). З іншого боку, воно використовується як метод вивчення і представлення цього явища.

У першому випадку поняття системи використовується як конкретно-предметне, призначене для позначення реально існуючого явища, яке нас цікавить, яке ми хочемо дослідити і яке лише умовно, лише в першому наближенні можна назвати системою.

У другому випадку поняття системи використовується як методологічне, як комплекс підходів, принципів і методів виділення, оцінки та дослідження цього явища.

### **2.2. Системний підхід.**

**Системний підхід** - один із головних напрямів методології спеціального наукового пізнання та соціальної практики, мета і завдання якого полягає у дослідженнях певних об'єктів як складних систем. Системний підхід сприяє формуванню відповідного адекватного формулювання суті досліджуваних проблем у конкретних науках і вибору ефективних шляхів їх вирішення.

Методологічна специфіка системного підходу полягає в тому, що метою дослідження є вивчення закономірностей і механізмів утворення складного об'єкта з певних складових. При цьому особлива увага звертається на різноманіття внутрішніх і зовнішніх зв'язків системи, на процес (процедуру) об'єднання основних понять у єдину теоретичну картину, що дає змогу виявити сутність цілісності системи.



Системний підхід - це категорія, що не має єдиного визначення, оскільки трактується надто широко і неоднозначно. У літературі наводяться наступні трактування або визначення системного підходу:

- інтеграція, синтез розгляду різних сторін явища або об'єкта (А. Холл);
- адекватний засіб дослідження і розробки не будь-яких об'єктів, що довільно називаються системою, а лише таких, котрі є органічним цілим (С. Оптнер);
- вираження процедур подання об'єкта як системи та способів їх розробки (В. Садовський);
- широкі можливості для одержання різноманітних тверджень та оцінок, які передбачають пошук різних варіантів виконання певної роботи з подальшим вибором оптимального варіанта (Д. Бурчфільд).

Такий підхід має історичне підґрунтя. Так, до середини XIX ст. пізнавальні уявлення про цілісність системи розвивалися на рівні конкретних предметів, при цьому взаємозв'язок та єдність частин були очевидними як за зовнішніми ознаками, так і за властивостями. Спосіб пояснення сутності якогось явища (в ширшому плані) мали механістичний, натурфілософський, метафізичний характер. Водночас розвивалися ідеалістичні погляди на природу цілісності системи, починаючи від простих об'єктів і закінчуючи складними.

На початку XX ст. наука піднялася на якісно новий щабель розвитку. Головним її надбанням стала проблема структурної організації та забезпечення функціонування складних системних об'єктів, тому в сучасній науці формуються та широко використовуються категорії системності. У результаті такого прогресу в процесах наукових досліджень центральне місце займає системний підхід.

Необхідність вирішення наукових і практичних завдань нового типу поєднується з розвитком загальнонаукових і конкретно-наукових (спеціальних) теорій і гіпотез. У процесі їх побудови відобразилися принципи та положення системного підходу. Так, В. І. Вернадський розвинув у 1930-ті роки концепцію про біосферу, в основу якої був покладений новий тип найскладніших системних об'єктів глобального масштабу - біогеоценоз. Ідеї системного підходу застосовуються в екології, фізіології, багатьох напрямках біології, фізики, хімії, а також у психології та суспільних науках.

Друга половина XX ст. характеризувалася постановкою та вирішенням системних завдань у суспільній практиці в зв'язку із запровадженням складних технічних і соціально-економічних систем. При цьому різноманітні технічні, організаційні, економічні та соціальні питання і проблеми, методи і засоби їх вирішення концентрувалися навколо єдиних цільових програм. Типовим прикладом можуть бути космічні, енергетичні, технологічні проекти. У цих комплексних програмах значне місце займала все таки проблема типу «людина-машина».

Таким чином, науково-технічна революція характеризується взаємним проникненням (інтеграцією) різних напрямів теорії і практики. Масштабні об'єкти трудової діяльності і наукового пізнання мають складну системну природу, а дослідження складних системних об'єктів потребує гармонійного сполучення аналітичних і синтетичних методів вивчення структури та функцій системи.

Системний підхід не існує у вигляді чіткої методики з визначеною логічною концепцією. Це - система, утворена із сукупності логічних прийомів, методичних правил і принципів теоретичного дослідження, що виконує таким чином евристичну функцію в загальній системі наукового пізнання. Прогресивне значення системного підходу можна коротко визначити так: предмети (об'єкти) дослідження і принципи системного підходу мають ширші масштаби, зміст і значення порівняно з традиційним рівнем наукового пізнання та практики. Прикладом цього є такі поняття (категорії), як біосфера, біогеоценоз, людина-машина тощо.

Системний підхід містить у собі принципово нову головну установку, спрямовану в своїй основі на виявлення конкретних механізмів цілісності об'єкта і, при нагоді, повної типології його зв'язків. Значні труднощі, які ускладнюють вирішення цього головного завдання, полягають у тому, що виявлення у багатокомпонентних об'єктах різнотипних зв'язків є лише одним із основних завдань дослідження системного об'єкта. З іншого боку, важливо здійснювати порівняння динаміки всього різноманіття зв'язків у співмірному вигляді за логічно однорідним критерієм, загальним для цілісної системи. Так, наприклад, у системі управління обсяг інформації, що надходить до керуючих структур, вимірюють у бітах. Істотним є те, що

таким шляхом встановлюється не лише кількість, а й якість інформації, тобто її зміст для певного каналу зв'язку і системи загалом.

Системний підхід визначає також необхідність розчленування досліджуваних багатокомпонентних об'єктів, на основі принципу найбільшої важливості зв'язків для системи при різноманітні їхніх типів у кожній конкретній складовій системи. Обґрунтований вибір найбільш адекватного варіанта розчленування здійснюється за допомогою відокремлення сумірної одиниці аналізу (наприклад, суб'єкт господарювання, орган державного управління тощо). На такому підґрунті досліджуються основні властивості системного об'єкта при нерозривному зв'язку структури та функції в їх динаміці.

До основних напрямів системних досліджень можна віднести три основних тенденції, які встановив австралійський біолог і філософ Л. фон Берталанфі (1901-1972):

Наука про системи вивчає принципи застосування системних концепцій у природничих, суспільних науках і науках про поведінку на основі емпіричного дослідження. При цьому основна увага дослідника зосереджується на пізнанні цілого та цілісності, реалізуються підходи до оцінки рівнів складності об'єктів, аналізуються способи взаємодії та взаємовідносин компонентів системи. Для досягнення поставленої мети дослідження, виявлення подібності та ізоморфізму різних систем широко використовуються формальні методи, зокрема математичні моделі.

Системна технологія використовується для розв'язання проблем, що виникають у виробництві та суспільних відносинах, які можна досліджувати на основі теорії систем. Таким чином, у системному аналізі, в процесах управління системами, в дослідженні операцій, інформатизації тощо системний підхід використовується для пошуку практичних розв'язань конкретних проблем.

Принципи системного підходу - це загальні положення, що відображають відношення, абстраговані від конкретного змісту наукових і прикладних проблем. Для вирішення конкретної наукової проблеми або проблемної ситуації принципи системного підходу повинні конкретизуватися, причому конкретизація визначається об'єктом і предметом наукового дослідження. В дослідженні складних систем необхідно виявити суттєві особливості проблеми, врахувати найважливіші взаємозв'язки на основі інтерпретації системних принципів до конкретних умов, що дає змогу досліднику піднятися на вищий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі її розгляду «зсередини». Адекватне застосування принципів системного підходу при дослідженні різних систем сприяє розвитку у дослідника особливого, системного типу мислення.

У науковій літературі до основних принципів системного підходу пропонується віднести:

- принцип остаточної (глобальної, генеральної) мети - функціонування та розвиток системи і всіх її складових повинні спрямовуватися на досягнення певної глобальної (генеральної) мети. Всі зміни, вдосконалення та управління системою потрібно оцінювати з цієї точки зору;

- принцип єдності, зв'язаності і модульності - система розглядається «ззовні» як єдине ціле (принцип єдності), водночас необхідний «погляд зсередини», дослідження окремих взаємодіючих складових (принцип зв'язаності). Принцип модульності передбачає розгляд замість складових системи її входів і виходів, тобто абстрагування від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи;

- принцип ієрархії - виявлення або створення у системі ієрархічних зв'язків, модулів, цілей. В ієрархічних системах дослідження, як правило, розпочинається з «вищих» рівнів ієрархії, а в разі її відсутності дослідник повинен чітко визначити, в якій послідовності розглядатимуться складові системи та напрямок конкретизації уявлень;

- принцип функціональності - структура системи тісно пов'язана та обумовлюється її функціями; отже, створювати та досліджувати систему необхідно після визначення її функцій. У разі появи нових функцій системи доцільно змінювати її структуру, а не намагатися «прив'язати» цю функцію до старої структури;

- принцип розвитку - здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження певних якісних властивостей. При створенні та дослідженні штучних систем межі розширення функцій системи та її модернізації повинні визначатись їхньою доцільністю.

Здатність до розвитку штучних систем визначається наявністю таких властивостей, як самонавчання, самоорганізація, штучний інтелект;

- принцип децентралізації - розумний компроміс між повною централізацією системи та здатністю реагувати на вплив зовнішнього середовища окремими частинами системи. Співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається метою та призначенням системи. Повністю централізована система є негнучкою, неспроможною швидко реагувати і пристосовуватися до змінних умов;

- принцип невизначеності - у більшості випадків досліджується система, про яку не все відомо, поведінка якої не завжди зрозуміла, невідома її структура, непередбачуваний перебіг процесів, невідомі зовнішні впливи тощо. Частковим випадком невизначеності є випадковість, коли певна подія може відбутись, а може й не відбутись.

Існує кілька різновидів системного підходу: комплексний, структурний, цілісний.

Комплексний підхід пропонує наявність сукупності компонентів об'єкта або застосовуваних методів дослідження. При цьому не беруться до уваги ні відносини між об'єктами, ні повнота їх складу, ні відносини компонентів в цілому. Вирішуються головним чином завдання статички: кількісного співвідношення компонентів і подібні.

Структурний підхід пропонує вивчення складу (підсистем) і структур об'єкта. При такому підході ще немає співвіднесення підсистем (частин) і системи (цілого). Декомпозиція систем на підсистеми проводиться не єдиним чином. Динаміка структур, як правило, не розглядається.

При цілісному підході вивчаються відносини не тільки між частинами об'єкта, а й між частинами і цілим. Декомпозиція цілого на частини єдина. Так, наприклад, прийнято говорити, що "ціле - це те, від чого нічого не можна відняти і до чого нічого не можна додати". Цілісний підхід пропонує вивчення складу (підсистем) і структур об'єкта не тільки в статичці, а й у динаміці, тобто він пропонує вивчення поведінки й еволюції систем. Цілісний підхід можна застосувати не до всіх систем (об'єктах), а тільки до таких, яким властива висока ступінь функціональної незалежності. До числа найважливіших завдань системного підходу відносяться:

- 1) розробка засобів подання досліджуваних і конструйованих об'єктів як систем;
- 2) побудова узагальнених моделей системи, моделей різних класів і специфічних властивостей систем;
- 3) дослідження структури теорій систем і різних системних концепцій і розробок.

### **2.3. Системний аналіз.**

Найбільш поширеним напрямком системних досліджень вважається системний аналіз, під яким розуміють методологію вирішення складних завдань і проблем, засновану на концепціях, розроблених в рамках теорії систем.

Системний аналіз – це науковий метод дослідження складних, багаторівневих, багатокomпонентних систем і процесів, що спирається на комплексний підхід, облік взаємозв'язків і взаємодій між елементами системи, а також сукупність методів вироблення, прийняття та обґрунтування рішень при проектуванні, створенні та управлінні соціальними, економічними, людино-машинними і технічними системами.

Термін "системний аналіз" вперше з'явився в 1948 р. в роботах корпорації RAND у зв'язку із завданнями зовнішнього управління, а у вітчизняній літературі широке поширення отримав після перекладу книги С. Оптнера.

Системний аналіз - це є набір якихось інструкцій та принципів для керуючих, це спосіб мислення по відношенню до організації та управління.

Системний аналіз використовується в тих випадках, коли прагнуть дослідити об'єкт з різних сторін, комплексно.

Процедури і методи системного аналізу направлені саме на висунення альтернативних варіантів вирішення проблеми, виявлення масштабів невизначеності по кожному з варіантів і зіставлення варіантів по тим чи іншим критеріям ефективності.

Інтенсивне розширення сфери використання системного аналізу тісно пов'язане з поширенням програмно-цільового методу управління, при якому спеціально для вирішення важливої проблеми складається програма, формується організація (установа або мережу установ) та виділяються необхідні матеріальні ресурси.

Основною особливістю методик системного аналізу є поєднання в них формальних методів і неформалізованої (експертного) знання.

Останнє допомагає знайти нові шляхи вирішення проблеми, що не містяться у формальній моделі, і таким чином безперервно розвивати модель і процес прийняття рішення, але одночасно бути джерелом протиріч, парадоксів, які іноді важко вирішити. Тому дослідження з системного аналізу починають все більше спиратися на методологію прикладної діалектики.

З урахуванням вищесказаного у визначенні системного аналізу потрібно підкреслити, що системний аналіз:

- застосовується для вирішення таких проблем, які не можуть бути поставлені і вирішені окремими методами математики, тобто проблем з невизначеністю ситуації прийняття рішення, коли використовують не тільки формальні методи, а й методи якісного аналізу ("формалізований здоровий глузд"), інтуїцію та досвід осіб, які приймають рішення;

- об'єднує різні методи з допомогою єдиної методики; спирається на науковий світогляд;

- об'єднує знання, судження і інтуїцію фахівців різних областей знань і зобов'язує їх до певної дисципліни мислення;

- приділяє основну увагу цілям і цілеобразованню.

Центральною процедурою в системному аналізі є побудова узагальненої моделі (або моделей), що відображає всі фактори і взаємозв'язки реальної ситуації, які можуть проявитися в процесі здійснення рішення. Отримана модель досліджується з метою з'ясування близькості результату застосування того чи іншого з альтернативних варіантів дій до бажаного, порівняльних витрат ресурсів по кожному з варіантів, ступені чутливості моделі до різних небажаних зовнішніх впливів.

Системний аналіз спирається на ряд прикладних математичних дисциплін і методів, які широко використовуються в сучасній діяльності управління: дослідження операцій, метод експертних оцінок, метод критичного шляху, теорію черг і т. п. Технічна основа системного аналізу - сучасні обчислювальні машини та інформаційні системи.

Методологічні засоби, що застосовуються при вирішенні проблем за допомогою системного аналізу, визначаються в залежності від того, переслідується єдина мета чи деяка сукупність цілей, чи приймає рішення одна особа або декілька і т. д.

Коли є одна досить чітко виражена мета, ступінь досягнення якої можна оцінити на основі одного критерію, використовуються методи математичного програмування. Якщо ступінь досягнення мети повинна оцінюватися на основі декількох критеріїв, застосовують апарат теорії корисності, за допомогою якого проводиться упорядкування критеріїв та визначення важливості кожного з них.

Коли розвиток подій визначається взаємодією кількох осіб або систем, з яких кожна переслідує свої цілі і приймає свої рішення, використовуються методи теорії ігор.

Системний аналіз, системний підхід і загальна теорія систем відображають оперативні, тактичні і стратегічні завдання вивчення складних систем.

У найбільш загальному вигляді під системою розуміється сукупність взаємопов'язаних елементів, що утворюють певну цілісність, деяку єдність.

Системний підхід є одним з найважливіших методологічних принципів сучасної науки і практики. Істотне значення в системному підході надається виявленню імовірнісного характеру поведінки досліджуваних об'єктів.

Важливою особливістю системного підходу є те, що не тільки об'єкт, а й сам процес дослідження виступає як складна система, завдання якої, зокрема, полягає в поєднанні в єдине ціле різних моделей об'єкта. Системні об'єкти, нарешті, як правило, не байдужі до процесу їх дослідження і в багатьох випадках можуть справити значний вплив на нього.

Застосування системного підходу дозволяє найкращим чином організувати процес прийняття рішень на всіх рівнях в системі управління пожежною безпекою.

Важливою особливістю системного аналізу є єдність використовуваних в ньому формалізованих і неформалізованих засобів і методів дослідження.

Незважаючи на те, що діапазон застосовуваних в системному аналізі методів моделювання і розв'язання проблем безперервно розширюється, системний аналіз за своїм характером не тотожний науковому дослідженню: він не пов'язаний із завданнями отримання

наукового знання у власному сенсі, але представляє собою лише застосування методів науки до вирішення практичних проблем управління і має на меті раціоналізації процесу прийняття рішень, не виключаючи з цього процесу неминучих у ньому суб'єктивних моментів.

Методи системного аналізу широко використовуються для вирішення багатьох теоретичних і прикладних завдань.

#### **Теми доповідей для заслуховування:**

1. Основні напрямки та функції системності в науці.
2. Системні закони та їх роль у пізнанні.
3. Основні системні ідеї в практичному житті.
4. Системність і майбутнє.

#### **Питання для перевірки знань:**

1. Що таке дослідження? Основні складові елементи досліджень.
2. Визначення терміну «система управління пожежною безпекою об'єкта захисту».
3. Що означає термін «системні дослідження»?
4. Завдання системних досліджень.
5. Специфіка системного дослідження.
6. Основні характеристики дослідження.
7. Стадії та етапи дослідження.
8. Визначення терміну «система».
9. Головні риси системи.
10. Визначення терміну «системний підхід».
11. Методологічна специфіка системного підходу.
12. Основні напрями системних досліджень.
13. Принципи системного підходу.
14. Різновиди системного підходу.
15. Визначення терміну «системний аналіз».

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповіді за темами:

1. Виникнення та розвиток науки про системи.
2. Характеристика основних аспектів системності.
3. Основні етапи розвитку системних ідей. Джерела системних ідей.

II. Вивчити поняття: «система», «елемент», «зв'язок», «компоненти і підсистема», «мета», «структура», «функція», «властивості», стан, поведінка, рівновага, стійкість, розвиток, процеси.

III. Пройти тестування: тест 1.2. за посиланням <https://forms.gle/7xWkfXjvrCxXmrks7>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйомов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними поняттями та визначеннями системного підходу та системного аналізу, що застосовуються під час наукових досліджень у сфері пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань щодо системного аналізу для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Питання для обговорення:

1. Принципи системного аналізу.
2. Етапи системного аналізу.
3. Методи системного аналізу.

### Теоретична частина:

#### 1. Принципи системного аналізу.

В сучасних умовах системний аналіз базується на реалізації певної сукупності системних принципів, до яких належать наступні.

**Принцип оптимальності** – це знаходження варіанта рішення, який є найкращим за комплексом показників для заданих умов. Завдання полягає не в тому, щоб знайти рішення краще існуючого, а в тому, щоб знайти найкраще зі всіх можливих рішень.

**Принцип емерджентності** виражає наступну властивість системи: чим більша система і чим більша різниця між розмірами частини та цілого, тим вищою є імовірність, що властивості цілого дуже відрізняються від властивостей частин. Цей принцип підкреслює можливість розбіжності локальних оптимумів цілей окремих частин з глобальним оптимумом цілі системи.

**Принцип системності** передбачає підхід до об'єкта як до комплексного утворення, системи, що представлена сукупністю взаємопов'язаних часткових елементів (функцій), реалізація яких забезпечує досягнення певного ефекту в мінімальні терміни, з мінімальними витратами ресурсів тощо. Він передбачає дослідження об'єкта, з одного боку, як єдиного цілого, а з другого – як частини більшої системи, в якій досліджуваний об'єкт взаємодіє з іншими системами.

**Принцип ієрархії** – це тип структурних відносин у складних багаторівневих системах, які характеризуються впорядкованістю, організованістю взаємодії між окремими рівнями по вертикалі. Під **ієрархією** системи розуміють розташування її підсистем або елементів за певним порядком від вищого до нижчого. Ієрархічні відносини існують у багатьох системах, для яких характерна як структурна, так і функціональна диференціація, тобто здатність

реалізувати певне коло функцій. На вищих рівнях здійснюються функції інтеграції, узгодження. Необхідність ієрархічної побудови складних систем обумовлюється тим, що управління в них пов'язано з переробкою і використанням великих масивів інформації, причому на нижчих рівнях використовується детальніша і конкретніша інформація, що охоплює лише окремі аспекти функціонування системи, а на вищій рівні надходить узагальнена інформація, котра характеризує функціонування всієї системи.

**Принцип інтеграції** передбачає, що дослідження спрямовуються на вивчення інтегративних властивостей і закономірностей. Інтегративні властивості проявляються в результаті сполучення елементів з утворенням цілого, а також сполучення функцій у часі та просторі. При цьому виникає синергетичний ефект, тобто ефект сполучення дій.

**Принцип формалізації** спрямований на отримання кількісних і комплексних характеристик об'єкта і його елементів.

## 2. Етапи системного аналізу.

Методики, що реалізують принципи системного аналізу, спрямовані на формалізацію процесу дослідження системи, процесу постановки і розв'язання проблеми. Загальним для всіх методик є формування варіантів подання системи, розв'язання завдання та вибір кращого варіанта.

На кожному етапі використовуються різноманітні методи і прийоми, зміст яких залежить від сутності завдання. При цьому існують основні структурні елементи, основна послідовність: “мета способи досягнення мети ресурси”.

У загальному вигляді системний аналіз складається з таких етапів:

- формулювання проблеми;
- ідентифікація призначення системи;
- ідентифікація змінних і взаємозв'язків між ними;
- ідентифікація функцій і структури системи;
- ідентифікація оточення (зовнішнього середовища) системи;
- генерація та визначення альтернативних потоків;
- оцінювання ресурсів, необхідних для реалізації можливих варіантів;
- визначення наявності ресурсів;
- оцінка ефективності варіантів і вибір прийнятної альтернативи;
- реалізація (впровадження) обраної альтернативи та корегування дій.

У процесі системного аналізу мета, як правило, структурується на ступіним чином: “цілі функції проблеми”. Отже, відповідно можна виділити наступні етапи системного розв'язання певної проблеми:

- виявлення цілі (цілей);
- встановлення функцій і критеріїв;
- виявлення проблем;
- діагноз і пошук рішення;
- оцінка і вибір альтернатив;
- узгодження та затвердження рішення;
- підготовка та реалізація рішення;
- перевірка ефективності рішення;
- визначення наявних і необхідних ресурсів для досягнення цілей;
- генерування альтернатив і сценаріїв.

На першому етапі необхідно з'ясувати, чи існує проблема взагалі, щоб не витратити багато часу та зусиль для розв'язання псевдопроблеми, а також правильно і точно сформулювати проблему. На другому етапі проблема піддається декомпозиції, тобто формується комплекс чітко сформульованих завдань, визначається позиція спостерігача стосовно об'єкта дослідження, критерії декомпозиції, виокремлюються підсистеми, окреслюється зовнішнє середовище. Третій етап передбачає вивчення структури системи, її функцій і процесів, їхню специфікацію (виокремлення рутинних процесів і процесів розвитку). Четвертий етап полягає у формулюванні мети системи, декомпозиції цілей, їх узгодженні із засобами досягнення. На п'ятому та шостому етапах формулюються цілі різних рівнів ієрархії, зовнішні обмеження, виявляються потреби в ресурсах для реалізації цілей, здійснюється композиція цілей. Оскільки системний аналіз застосовується переважно для розв'язання

стратегічних проблем, необхідно на цьому етапі врахувати майбутнє (ресурси, цінності, технології тощо), тобто здійснити прогнозування. Восьмий етап передбачає оцінювання за встановленими критеріями різних факторів, що впливають на систему: соціальних, економічних, політичних, моральних тощо, а також кількісну оцінку цілей і ресурсів. Дев'ятий етап має на меті коригування цілей і порівняння різних варіантів розв'язання проблеми, приведення їх у відповідність з наявними ресурсами. Системний аналіз призначений для покращення функціонування існуючих систем, тому важливим етапом є діагноз стану системи із застосуванням різноманітних методів аналізу та моделювання. Останні два етапи спрямовані на виявлення важливих проблем управління системою, розробку комплексу заходів, що повинні реалізуватися для досягнення поставленої мети, при цьому може виникнути необхідність у проектуванні додаткових структур управління або перепрофілюванні вже існуючих.

Системний аналіз є дисципліною синтетичною. Також, можна виділити *три основні напрямки*, що відповідають *трьом етапам*, які завжди наявні в дослідженні складних систем:

- 1) побудові моделі досліджуваного об'єкта;
- 2) постановці завдання дослідження;
- 3) розв'язанню поставленої математичної задачі.

Розглянемо ці етапи більш детально.

*Побудова моделі* (формалізація досліджуваної системи, процесу або явища) є описанням процесу *мовою математики*. Під час побудови моделі здійснюють математичне описання явищ і процесів, що відбуваються в системі. Оскільки знання завжди відносне, описання будь-якою мовою відображає лише деякі сторони процесів, що відбуваються, і ніколи не є абсолютно повним. З іншого боку, потрібно зазначити, що під час побудови моделі необхідно приділяти основну увагу тим сторонам процесу, що вивчається, які цікавлять дослідника. Глибоко помилковим є бажання під час побудови моделі системи відобразити всі сторони існування системи. Під час проведення системного аналізу дослідника зазвичай цікавить динамічна поведінка системи, причому під час описання

*Постановка завдання дослідження*. На цьому етапі формулюють мету аналізу. Мета дослідження є зовнішнім фактором щодо системи. Отже, мета стає самостійним об'єктом дослідження. Мета повинна бути формалізована.

Завдання системного аналізу полягає у здійсненні необхідного аналізу невизначеностей, обмежень і формулюванні, в кінцевому рахунку, деякої оптимізаційної задачі,

*Розв'язання поставленої математичної задачі*. Лише цей третій етап аналізу можна віднести саме до етапу, який використовує повною мірою математичні методи. Хоча без знання математики та можливостей її апарату успішне виконання двох перших етапів неможливо, оскільки і під час побудови моделі системи, і під час формулювання мети і задач аналізу широке застосування повинні набувати способи формалізації. Однак зазначимо, що саме на завершальному етапі системного аналізу можуть знадобитися тонкі математичні методи. Але потрібно мати на увазі, що завдання системного аналізу можуть мати низку особливостей, які призводять до необхідності застосування поряд з формальними процедурами евристичних підходів.

У системному аналізі використовують як математичний апарат загальної теорії систем, так й інші якісні та кількісні методи з галузі математичної логіки, теорії ухвалення рішень, теорії ефективності, теорії інформації, структурної лінгвістики, теорії нечітких множин,

Будь-які методи системного аналізу спираються на математичний опис тих чи інших фактів, явищ, процесів. Вживаючи слово «модель», завжди мають на увазі деякий опис, що відображає саме ті особливості досліджуваного процесу, які цікавлять дослідника. Точність, якість опису визначають, передусім, відповідністю моделі тим вимогам, які ставлять до дослідження, відповідністю одержуваних за допомогою моделі результатів ходу процесу, за яким спостерігають. Якщо під час розроблення моделі використовують мову математики, то говорять про математичні моделі. *Побудова математичної моделі є основою всього системного аналізу*. Це центральний етап дослідження або проектування будь-якої системи. Від якості моделі залежить успішність всього подальшого аналізу.

Для будь-якого об'єкта моделювання властиві якісні й кількісні характеристики. Математичне моделювання віддає перевагу виявленню кількісних особливостей і



закономірностей розвитку систем. Це моделювання значною мірою абстрагується від конкретного утримування системи, але обов'язково враховує його, намагаючись відобразити систему за допомогою апарата математики. Математичне моделювання являє собою велику сферу інтелектуальної діяльності. Це досить складний процес створення математичного опису моделі. Воно містить у собі кілька етапів. Математичне моделювання складається з чотирьох етапів: перший – змістовний опис об'єкта або процесу, коли виділяються основні складові системи, закономірності системи. Воно містить у собі числові значення відомих характеристик і параметрів системи; другий – формулювання прикладного завдання або завдання формалізації змістовного опису системи. Прикладне завдання містить у собі виклад ідей дослідження, основних залежностей, а також постановку питання, розв'язання якого досягається за допомогою формалізації системи; третій – побудова формалізованої схеми об'єкта або процесу, що припускає вибір основних характеристик і параметрів, які будуть використані при формалізації; четвертий – перетворення формалізованої схеми в математичну модель, коли йде створення або підбір відповідних математичних функцій. Винятково важливу роль у процесі створення математичної моделі системи відіграє формалізація, під якою розуміється специфічний прийом дослідження, призначення якого у тому, щоб уточнювати знання за допомогою виявлення його форми (способу організації, структури як зв'язку компонентів). Процедура формалізації припускає введення символів. При цьому завдяки формалізації виявляється така інформація, що не вловлюється на рівнях змістовного аналізу. Зрозуміло, що формалізація малоефективна стосовно складних систем, що відрізняється багатством і розмаїтістю зв'язків. Після створення математичної моделі починається її застосування для дослідження реального процесу. При цьому спочатку визначається сукупність початкових умов і величин. Тут можливі кілька способів роботи з моделлю: аналітичне її дослідження за допомогою спеціальних перетворень і вирішенням завдань; використання чисельних методів розв'язання, наприклад методу статистичних випробувань, методу імітаційного моделювання випадкових процесів, а також за допомогою застосування для моделювання комп'ютерної техніки. При математичному моделюванні складних систем треба враховувати складність системи. Складна система є багаторівневою конструкцією із взаємодіючих елементів, об'єднаних у підсистеми різних рівнів. Математична модель складної системи складається з математичних моделей елементів і математичних моделей взаємодії елементів. Взаємодія елементів розглядається звичайно як результат сукупності впливів кожного елемента на інші елементи.

### **3. Методи системного аналізу.**

У процесі розв'язання складних проблем застосовуються відповідні методи, тобто систематичні процедури або техніки генерації описань компонентів системи. Одним із таких методів є метод аналізу ієрархій, який ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, що визначають суть проблеми. Проблема розбивається на простіші складові з наступним оцінюванням ступеня взаємодії елементів отриманої ієрархічної структури з використанням принципу ідентичності і декомпозиції. Застосування цього методу визначається характером зв'язків між критеріями й альтернативами, при цьому можливі два варіанти зв'язків: перший варіант – кожний критерій зв'язаний з усіма альтернативами, другий – кожний критерій зв'язаний з певними альтернативами.

У процесі системного аналізу здійснюється попарне порівняння альтернатив, порівняння альтернатив зі стандартами та копіюванням.

Останні два підходи застосовуються у тих випадках, коли відсутні кількісні оцінки альтернатив за відповідними критеріями. Побудова ієрархії починається з визначення мети (корінь ієрархії), проміжних рівнів (аспекти мети, критерії і т.д.), а також альтернатив (найнижчий рівень ієрархії).

Для виявлення і структуризації важких для розуміння та дослідження проблем, котрі характеризуються великою кількістю і складним характером взаємозв'язків, доцільно застосовувати метод **“дерева цілей”** або **“дерева рішень”**. Цей метод орієнтований на отримання повної та відносно стійкої структури цілей, проблем, функцій, напрямків, тобто такої структури, яка мало змінюватиметься протягом певного терміну. Цілі (рішення) мають ієрархічний характер, при цьому цілі (рішення) вищого рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі (рішення) найближчого нижнього рівня. З переміщенням на нижчі рівні ієрархії

цілі (рішення) конкретизуються. У процесі побудови та використання “дерева цілей” або “дерева рішень” необхідно прагнути їх чітко і конкретно формулювати, забезпечити можливість кількісного чи порядкового оцінювання ступеня їхньої реалізації. Якщо цей процес зобразити графічно, то отримаємо, наприклад, наступне “дерево цілей”.

Головним результатом застосування цього методу є те, що він дає можливість поділу головного (генерального) завдання (цілі) на сукупність простіших завдань, для розв’язання яких існують певні методи та прийоми. Послідовний поділ мети дослідження на підпроблеми є важливим етапом системного аналізу. Такий поділ необхідно продовжувати доти, поки не отримуються прості, досить очевидні завдання, котрі можна реалізувати відомими способами і методами.

Метод побудови “дерева цілей” це ефективний і дуже поширений спосіб вирішення слабо структурованих проблем і завдань у галузі економіки, державного управління, менеджменту, при дослідженні й удосконаленні організаційних структур, проведенні наукових досліджень тощо.

Отже, в процесі побудови “дерева цілей” як методу наукового дослідження на першому етапі необхідно:

- чітко визначити і сформулювати головну мету (ціль) дослідження;
- визначити цілі другого порядку та завдання дослідження;
- виявити інформацію про параметри системи та зовнішнього середовища, які досліджуються;
- визначити допущення й обмеження, в рамках яких проводиться дослідження та розв’язується проблема.

Наступний етап полягає у визначенні критеріїв та обмежень. Під критеріями розуміють певні кількісні параметри цілей (підцілей, завдань), які повинні точніше їх характеризувати. Найпоширенішими критеріями, наприклад, при аналізі ефективності функціонування економічних систем є прибуток, собівартість продукції, обсяги її збуту, конкурентоспроможність тощо. Наступним етапом є генерування альтернатив, тобто гіпотез про можливі шляхи та способи досягнення визначеної мети. Генерування альтернатив є творчим процесом, при цьому застосовують різні методи

(процедури): метод мозкового штурму, метод “Дельфі”, інші методи експертних оцінок, сценарний аналіз, синектика, ділові ігри тощо.

Особливий клас методів системного аналізу становлять **експертні оцінки**, котрі пов’язані з безпосереднім опитуванням експертів. Можливість їх застосування, обґрунтування їхньої об’єктивності базується на тому, що значення досліджуваної характеристики знаходиться всередині діапазону оцінок, отриманих від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірною.

**Метод Дельфі** – це ітеративна процедура при проведенні мозкової атаки для підвищення ефективності експертних опитувань з використанням кількісних оцінок при розробці “дерева цілей” і сценаріїв. Найчастіше цей метод реалізується наступним чином. Під час першого туру для експертів формулюється мета експертизи та перелік запитань у вигляді анкети. Відповіді експертів опрацьовуються аналітичною групою за відповідним алгоритмом. На другому турі експерти отримують усереднені оцінки та обґрунтовані граничні оцінки, коригують відповідно до них свої попередні оцінки. Скорегована інформація знову опрацьовується аналітичною групою. Кількість турів визначається ступенем узгодженості думки експертів. Отже, основними особливостями методу Дельфі є: анонімність висловлювань; обґрунтування думок експертів з граничними оцінками; наявність оберненого зв’язку, що реалізується за допомогою багатокрокового опитування.

З початку 50-х рр. XX ст. дуже інтенсивно почав використовуватися метод мозкового штурму (мозкової атаки). Методи цього типу відомі також під назвами “конференція ідей” і “колективна генерація ідей”. Суть вказаних методів зводиться до того, що експертам надається повна свобода мислення і висловлювання нових ідей. Для цього розглядаються всі продуковані ідеї, не допускається критика і не припиняється обговорення жодної ідеї. З цією метою створюється атмосфера, котра сприяє генерації нетривіальних ідей і звільняє експертів від стереотипного мислення.

**Метод сценаріїв** передбачає, що способи та процедури підготовки й узгодження уявлень про проблему чи об’єкт, які досліджуються, викладені у письмовому вигляді



6. Метод “Дельфі”;
7. Метод сценаріїв.
8. Метод комісії.

**Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповідь за темою:

1. Закономірності взаємодії частини та цілого систем.
2. Закономірності ієрархічного впорядкування систем.
3. Закономірності функціонування та розвитку систем.
4. Закономірність здійснення систем.
5. Закономірності виникнення і формулювання цілей систем.
6. Закономірності формування структур цілей систем.

II. Пройти тестування: тест 2.2. за посиланням <https://forms.gle/f48gNZrQvA7jc7AF7>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 ПІДХОДИ ТА МОДЕЛІ У СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ. ФОРМАЛЬНІ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйюмов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними поняттями та визначеннями системного підходу та системного аналізу, що застосовуються під час наукових досліджень у сфері пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань щодо системного аналізу для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Питання для обговорення:

1. Кібернетичний підхід до опису моделей.
2. Підхід системної динаміки до побудови моделей.
3. Теоретико-множинний підхід до опису моделей.

### Теоретична частина:

**Модель** (лат. – *міра, зразок*) – це деякий об'єкт, який за певних умов замінює об'єкт, який є оригіналом, відтворюючи потрібні користувачеві властивості та характеристики оригінала, має за цих умов істотні переваги користування (*наочність, оглядність, доступність випробувань та ін.*).

За допомогою моделі можна досягти двох основних цілей **описової**, якщо модель призначена для пояснення і кращого розуміння об'єкта, або **приписуючої**, коли модель дає змогу передбачити або відтворити характеристики об'єкта або визначити його поведінку.

Модель є **описовою**, якщо вона призначена зображувати поведінку (функціонування) або властивості існуючої або типової системи (*наприклад, масштабна модель або письмовий опис, що дає змогу знайти потенційних покупців із фізичними і робочими характеристиками комп'ютера*). Протилежність – **приписуюч** модель, яка відображає необхідну поведінку або властивості запропонованої системи (*наприклад, масштабна модель або письмовий опис, представлений постачальнику комп'ютерів, з фізичними і робочими характеристиками потрібного замовнику комп'ютера*).

Приписуюча модель може бути описовою, але не навпаки. Тому існує різний ступінь корисності моделей, які використовуються в технічних і соціальних науках. Це значною мірою залежить від методів, і засобів, застосовуваних під час побудови моделей, а також від кінцевої мети. У соціальних науках моделі призначено для пояснення існуючих систем, а в техніці вони є допоміжними засобами для створення нових або більш досконалих моделей. Модель, що придатна для досягнення цілей розроблення системи, має також пояснювати її.

Під час побудови моделей застосовуються фундаментальні закони природи, варіаційні принципи, аналога, ієрархічні ланцюжки. Процес створення моделі включає такі етапи.

1. Словесно-смісловий опис об'єкта або явища – формулювання описової моделі, призначеної для сприяння кращому розумінню об'єкта моделювання.
  2. Числове вираження модельованої реальності для виявлення кількісної міри і границь відповідних якостей; з цією метою провадиться математико-статистична обробка емпіричних даних, пропонується кількісне формулювання якісно встановлених фактів і узагальнень.
  3. Перехід до вибору або формулювання моделей явищ і процесів (варіаційного принципу, аналогії тощо) і його запису у формалізованій формі; це рівень структурних теоретичних схем, таких як системи масового обслуговування, мережі Петрі, скінченні або ймовірнісні автомати, діаграми фонд-потік тощо.
  4. Завершення формулювання моделі її «оснащенням» – задання початкового стану і параметрів об'єкта.
  5. Вивчення моделі за допомогою доступних методів (у тому числі із застосуванням різних підходів і обчислювальних методів).
- У результаті дослідження моделі досягається поставлена мета. У цьому разі має бути встановлена всіма можливими способами (шляхом порівняння з практикою, порівняння з іншими підходами) її адекватність – відповідність об'єкта сформульованим припущенням.

### 1. Кібернетичний підхід до опису моделей.

Систему можна вивчати та аналізувати, змінюючи вхідні впливи і спостерігаючи за виходами. Це кібернетичний підхід, згідно з яким система розглядається як «чорну скриньку». Метод «чорної скриньки» широко використовується під час моделювання систем, коли для дослідника важливо отримати інформацію про поведінку системи, а не про її будову. Дослідник не може зробити однозначний висновок про структуру «чорної скриньки», спостерігаючи тільки за його входами та виходами, бо поведінка модельованої системи нічим не відрізняється від поведінки ізоморфних їй систем.

Таким чином, вхідні впливи  $X$  перетворюються у виходи системи  $Y$  за допомогою рівнянь, і саму систему  $S$  можна подати у вигляді «чорної скриньки», зображеної на рис. 1, де зовнішні відношення пов'язують елементи системи із зовнішнім середовищем за допомогою входів системи. Під час проведення досліджень системи можна впливати на її входи та спостерігати за її виходами. Вхідні змінні, які дослідник може змінювати, проводячи експерименти, називаються змінними, якими керують, а ті, що неможливо змінювати, – змінними, за якими спостерігають. Під час моделювання звичайно можна змінювати всі вхідні змінні.

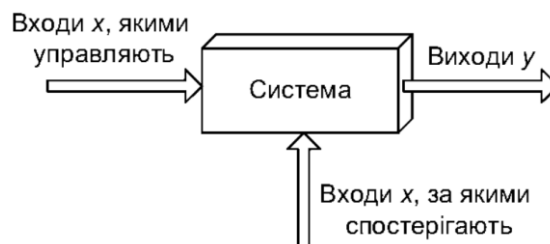


Рис. 1. Кібернетична модель системи.

Для побудови моделі використовуються методи теорії ідентифікації. У загальному випадку завдання ідентифікації формулюється так: на основі результатів спостереження за вхідними та вихідними змінними системи потрібно побудувати оптимальну в деякому розумінні математичну модель. Основними етапами ідентифікації є такі:

1. Вибір класу і структури моделі та мови її опису.
2. Вибір класу і типів вхідних впливів  $X$ .
3. Обґрунтування критеріїв подібності системи та моделі.
4. Вибір методу ідентифікації та розроблення відповідних алгоритмів оцінювання параметрів системи.
5. Перевірку адекватності отриманої в результаті ідентифікації моделі.

Залежно від обсягу апріорної інформації про клас і структуру системи вирізняють завдання ідентифікації в широкому та вузькому розумінні. Завдання ідентифікації у широкому

розумінні виконується в умовах апріорної невизначеності структури моделі системи («чорна скринька»). Клас і структура математичної моделі вибираються на основі результатів теоретичного аналізу з використанням загальних закономірностей процесів, які протікають у системі, або на основі загальної інформації про подібні системи. У цьому випадку для побудови математичної моделі можна використовувати непараметричні методи. Їх розроблено для тих ситуацій, які досить часто виникають на практиці, коли дослідник нічого не знає про параметри досліджуваної системи (звідси і назва методів – непараметричні).

Завдання ідентифікації у вузькому розумінні полягає в оцінюванні параметрів і станів системи, якщо відома структура моделі («сіра скринька»). Завданням ідентифікації є кількісне оцінювання певних параметрів. Для цього використовується параметрична ідентифікація математичної моделі. Прикладами таких моделей можуть бути диференціальні та різницеві рівняння, моделі типу «вхід-стан-вихід».

На рис. 2 зображено загальну схему ідентифікації системи. Вхідні впливи  $X$  на систему та модель однакові, виходи системи  $Y_S$  і моделі  $Y_M$  у загальному випадку відрізняються. Для їх порівняння потрібно сформулювати критерій подібності та мінімізувати його, тобто налагодити модель.

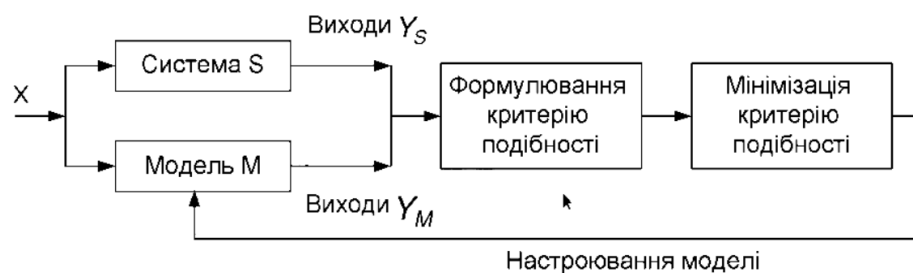


Рис.2. Загальна схема ідентифікації системи.

Прикладами моделей, створених на основі експериментальних даних, можуть бути моделі авторегресії різних порядків, ковзного середнього та моделі типу «вхід-вихід», побудовані за допомогою методу найменших квадратів.

## 2. Підхід системної динаміки до побудови моделей.

Для формального представлення моделей неперервних систем Дж. Форрестер у 1960 році запропонував ще один підхід, названий системною динамікою, який дає змогу будувати моделі динамічних взаємопов'язаних систем за допомогою причинних діаграм циклів і схем виду «фонд-потік». Він же запропонував для числового моделювання таких систем мову Динамо. Модель будується як система диференціально-різницевого рівнянь, а мова Динамо дає можливість автоматизувати процес їх написання. Практично всі сучасні засоби неперервного та неперервно-дискретного моделювання базуються на цій мові для побудови моделей. На відміну від математичного розв'язання системи таких рівнянь у замкненому вигляді використовується числове розв'язання з дискретним кроком часу, що дає змогу моделювати на деякому проміжку часу динамічні зміни фондів, пов'язаних з точкою часу і потоків. Фонди та потоки пов'язані між собою через змінні.

Фонд можна трактувати як деяку кількість чого-небудь, що вимірюється в певних одиницях. Фонди можуть акумулювати одиниці фонду. Найкраще їх уявляти як резервуари, ресурси або буфери. Фонди поповнюються через вхідні потоки та спорожняються через вихідні. Як буфер фонд може використовуватись для забезпечення балансування швидкості накопичення та витрачання.

Потік – це процес, що протікає неперервно в часі, оцінити який можна в деяких кількісних одиницях за певний проміжок часу. Залежно від характеристики використання потоки поділяються на обмежені та необмежені, одно- та двоспрямовані, конвертовані та неконвертовані. Потік, як правило, обмежується фондом. Потоком можна керувати, тобто збільшувати або зменшувати його інтенсивність за допомогою деяких алгебричних виразів.

Існує багато різних способів зв'язувати у динамічних моделях причини та наслідки, не розглядаючи конкретні методи. В їх основі лежить кілька підходів.



Рис. 3. Три підходи до зв'язування причин і наслідків для побудови моделі.

Перший підхід полягає в тому, що наслідок виникає з причини і взаємозв'язок між різними причинами відсутній. Такий підхід, наприклад, використовують бухгалтери під час розрахунків. Як правило, для цього застосовують статичні та статистичні моделі.

Другий підхід передбачає, що між причинами та наслідками існує лінійний зв'язок у вигляді ланцюжка. Такий підхід підтримують інженери та науковці, які вважають, що всі події у всесвіті залежать одна від одної. Маючи достатню кількість інформації, можна побудувати залежності в часі для всіх подій у майбутньому.

Системні мислителі, які застосовують цю парадигму, користуються діаграмами впливу та моделями лінійних рівнянь і вважають, що завжди можна логічно прослідкувати, «що є на вході і що буде на виході».

Згідно з третім підходом всесвіт розглядається як система зі зворотними зв'язками, тобто ланцюжки причин і наслідків циклічно пов'язані між собою. Таке уявлення підтримують кібернетики, прихильники нелінійної динаміки та хаосу. Вони вважають, що всесвіт значною мірою хаотичний, і передбачити майбутнє з огляду на його минуле неможливо. Ці системні мислителі використовують циклічні причинні моделі, нелінійні рівняння в кінцевих різницях. Часто поведінка таких моделей далека від реальності та інтуїтивного уявлення і може бути дещо несподіваною для дослідника.

Побудова складних динамічних моделей з використанням причинних циклів включає такі етапи.

- Абстрагування від фізичної структури.
- Концентрація на процесах для визначення траєкторій, за якими система починає та закінчує працювати.
- Використання простих диференціально-різницевих рівнянь для опису процесів у системі.

### 3. Теоретико-множинний підхід до опису моделей.

Для отримання математичної моделі процесу функціонування системи, щоб вона охоплювала широкий клас реальних об'єктів, в загальній теорії систем виходять із загальних припущень про характер функціонування системи:

- система функціонує в часі; в кожен момент часу система може перебувати в одному з можливих станів;
- на вхід системи можуть надходити вхідні сигнали;
- система здатна видавати вихідні сигнали;
- стан системи в даний момент часу визначається попередніми станами і вхідними сигналами, що надійшли в даний момент часу і раніше;
- вихідний сигнал в даний момент часу визначається станами системи, що відносяться до даного і попереднім моментів часу.



Перше припущення відображає динамічний характер процесу функціонування в просторі і часі. При цьому процес функціонування протікає як послідовна зміна станів системи під дією зовнішніх і внутрішніх причин. Друге і третє припущення відображають взаємодію системи із зовнішнім середовищем. У четвертому і п'ятому пропозиціях відбивається реакція системи на внутрішні чинники і впливу зовнішнього середовища: післядія і принцип фізичної можливості бути реалізованим.

Післядія - це тенденції, що визначають поведінку системи в майбутньому, які залежать не тільки від того, в якому стані знаходиться система в даний момент часу, але і в тій чи іншій мірі від її поведінки в попередні моменти часу.

Принцип фізичної можливості бути реалізованим: система не реагує в даний момент часу на «майбутні» чинники і впливу зовнішнього середовища.

Для опису систем її підсистеми (або елементи) перераховуються за допомогою деяких множин  $V$ , і встановлюється характер зв'язків між ними.

#### **Теми доповідей для заслуховування та обговорення:**

7. Закономірності взаємодії частини та цілого систем.
8. Закономірності ієрархічного впорядкування систем.
9. Закономірності функціонування та розвитку систем.
10. Закономірність здійснення систем.
11. Закономірності виникнення і формулювання цілей систем.
12. Закономірності формування структур цілей систем.

#### **Питання для перевірки знань:**

1. Визначення поняття «модель».
2. Стапи створення моделі.
3. Сутність кібернетичного підходу до опису моделей.
4. Сутність підходи системної динаміки до побудови моделей.
5. Сутність теоретико-множинний підхід до опису моделей.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

- I. Підготувати доповідь за темою:
  1. Аналітичний підхід в науковому пізнанні та практиці.
  2. Системні закони і їх роль в аналітичній діяльності.
  3. Змістовний опис функцій управління.
  4. Якість і кількість інформації під час досліджень.
  5. Конфлікти та компроміси.
  6. Основні принципи оптимальності.
  7. Прийняття рішень в умовах невизначеності.
  8. Прийняття рішень в умовах ризику.
- II. Пройти тестування: тест 3.2. за посиланням <https://forms.gle/UTu8Xsa4k9Q4Zcth8>

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4**

### **ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ. ІНФОРМАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ**

#### **Література:**

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйомов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

#### **Мета заняття:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними моделями системи пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **Теоретична частина:**

Звичайно в прийнятті будь-якого рішення присутні в різною мірою три аспекти: інтуїція, судження, раціональність.

Прийняття інтуїтивного рішення ґрунтуються на власному відчутті менеджером правильності вибору. Вона досягається завдяки можливості виконавця підсвідомо проникнути в суть розв'язуваної проблеми і зрозуміти її, при цьому свідомо не оцінюється кожна альтернатива і не потрібно глибокого розуміння ситуації.



**Рис. 1. Алгоритм застосування управлінських прийомів за етапами процесу управління.**

Рішення, які базуються на судженнях - це вибір, обумовлений знаннями чи досвідом.

Судження як основа для прийняття управлінських рішень є корисним, оскільки значна частина організаційних ситуацій має тенденцію повторюватись, а прийняте рішення в подібній ситуації принесло успіх. Для рішень, прийнятих на основі суджень, характерна висока швидкість та низька вартість його прийняття, оскільки таке рішення приймається у свідомості менеджера. Однак для прийняття рішення в новій, унікальній чи складній ситуації судження буває замало, оскільки у виконавця відсутній достатній досвід і знання, на яких може базуватися логічний вибір.

Недоліком процесу прийняття рішень на основі суджень може бути надмірна орієнтація на минуле, а такий процес втрачає свою інноваційну творчу компоненту. Водночас такий варіант може втратити нову альтернативу, яка є ефективнішою, ніж попередні успішні рішення.

Пріоритет новітніх знань, передового досвіду характеризує раціональний підхід до прийняття управлінських рішень.

Здатність організацій адаптуватись до нових умов господарювання виявилась найважливішим фактором конкурентоспроможності. Це пов'язано з тим, що виробничі цикли стають коротшими, оскільки знання старіють все швидше, оскільки збільшується потужність потоку досліджень; конкурентоздатність зростає, в першу чергу, за рахунок покращення організації процесу прийняття рішень, які відбиваються на швидкості їх реалізації, і саме не в поточному, а в стратегічному плані.

Насправді управлінські рішення відрізняються одне від одного. Менеджери, які займають різні посади в організації, зайняті в різних функціональних сферах, і приймають рішення різних типів. Навіть в одному підрозділі, наприклад у відділі по роботі з персоналом, один менеджер може вирішувати завдання набору персоналу, а інший - кар'єрним ростом уже зайнятих в організації, їхньою професійною підготовкою тощо. Обидва менеджери відділу будуть приймати рішення, що істотно відрізняються.

Реалізація політики швидкого розвитку організації і, відповідно, прийняття великої кількості нових рішень потребує їх диференціації. Тобто необхідна визначена класифікація типів рішень для удосконалення методів прийняття рішень та організації їх виконання. Складність і різноманіття рішень не тільки припускає, але й вимагає застосування різних критеріїв класифікації рішень.

Важливою передумовою аналізу такої класифікації рішень є встановлення суб'єкту або тієї частини організації, що відповідає за дане рішення. При цьому розробляється "дерево" організації стосовно прийнятих рішень, що буде близько відповідати її організаційній структурі.

При реалізації цього підходу виявляються суб'єкти прийняття рішень в основних функціональних областях. Це, наприклад, фахівці з контролінгу, логістики, виробничі, фінансові менеджери, фахівці з маркетингу або управління персоналом. Всі вони відповідають за специфічні галузі організаційної діяльності. Необхідно також визначити загальні масштаби рішень, які відображають їх загальний характер без акцентів на специфіці.

Загалом рішення можна класифікувати за багатьма ознаками (рис. 2).



Рис. 2. Класифікація управлінських рішень.

Умови, в яких приймаються рішення, досить суттєво впливають на якість прийнятих рішень. За змістом рішення бувають: технічні, які стосуються об'єктивних факторів діяльності організацій: стан наявного парку, обладнання, технологій, прийомів роботи; економічні - об'єктом стають витрати, які несе організація, і результати, які вона може у підсумку отримати; соціальні - рішення, які приймаються щодо персоналу, його стану, умов праці, гарантій і пільг.

За функціональним змістом рішення поділяються на: організаційні, тобто ті, які спрямовані на становлення організацій, розподіл обов'язків, ієрархії; регулюючі - найчастіше приписують засоби здійснення тих чи інших дій у певних документах: правилах розпорядку, графіках роботи, нормах і нормативах; координуючі - мають в основному оперативний характер; типові приклади: надання слова на зборах, розподіл поточної роботи між виконавцями; контролюючі - слугують для оцінки тих або інших дій підлеглих і їх подальшого корегування.

За прогноною ефективністю виокремлюють: ординарні рішення, тобто такі, за які ефективність витрат ресурсів на одиницю отриманого ефекту (результату) відповідає нормам і нормативам, прийнятих для організації (неефективні, раціональні, оптимальний); синергійні —

за яких ефективність витрат ресурсів на одиницю отриманого ефекту різко зростає, тобто ефект має явно виражений непропорційно зростаючий характер; асинергетичні - що призводять до непропорційного зниження ефективності системи і/або операції.

За часом дії рішення поділяють на: стратегічні, котрі визначають головні шляхи розвитку організації; тактичні - конкретні засоби просування шляхом розвитку; перспективні - спрямовані на прийняття і реалізацію перспективних планів; поточні - приймаються відповідно до потреб сьогодення; оперативні - приймаються стосовно конкретного елемента нижнього рівня; стабілізаційні - приймаються для забезпечення утримання організації, її підсистем у керованих або допустимих параметрах.

За ступенем обов'язковості виконання рішення є: директивними, тобто ті, що приймаються вищими органами управління з приводу найбільш важливих проблем, обов'язкові для виконання; рекомендаційні - рішення приймаються дорадчими органами - комітетами або комісіями. Їх виконання бажане, але не обов'язкове; орієнтуючі - як і директивні, призначені для низової ланки управління, однак діють в умовах свободи від центру.

За технологією прийняття рішення відносять до: запрограмованих, тобто вони є результатом реалізації визначеної послідовності кроків або дій. Як правило, число можливих альтернатив обмежений і вибір повинен бути зроблений у межах напрямів, заданих організацією; незапрограмованих - це рішення, котрі приймаються в неординарних ситуаціях і потребують індивідуального творчого підходу, що інтерпретує різноманітний досвід, дані спеціальних досліджень, мистецтво і інтуїція менеджера.

За кількістю варіантів рішення класифікують на: безальтернативні, тобто такі, що приймаються у тому випадку, коли із становища є тільки один вихід; виникають у стандартних ситуаціях; бінарні - які передбачають два можливих варіанти, які можуть бути близькими або проміжними (альтернативними); багатоваріантні - передбачають кілька рівноправних варіантів, що приводять до отримання заданого результату; інноваційні - рішення приймається на основі штучного комбінування підходящих характеристик з тих рішень, які були у цілому відхилені.

За характером роботи над ними і кількістю учасників рішення бувають: одноосібні, які приймаються і розробляються однією особою; колегіальні - котрі в свою чергу поділяються на: консультативні - приймаються на основі консультації з іншими (підлеглими, експертами) і на основі отриманих рекомендацій приймається одноособове рішення; спільні - приймаються на основі спільного погодження усіх учасників на основі консенсусу, що склався у процесі його підготовки; парламентські - базуються на тому, що більшість залучених до нього осіб погоджуються з ним; потребує затвердження.

Важливим критерієм аналізу класифікації рішень є суб'єкт або відповідний орган управління, який несе відповідальність за дане рішення. Такий підхід визначає ієрархію суб'єктів, що приймають рішення, які за сутністю досягнення цілей поділяються на концептуальні та емпіричні. Концептуальні - спираються на теоретичні положення менеджменту та визначають загальну політику організації та генеральний напрям її реалізації, віддзеркалюючи загальний характер тих концептів, які обрані за основоположні. Емпіричні рішення, що ґрунтуються на досвіді суб'єкта або організації, переносячи його у майбутнє. Такі рішення приймаються в основних функціональних областях. Це, наприклад, контролінг, операційний менеджмент, фінансовий менеджмент, маркетинг, логістика тощо. Рішення такого типу несуть в собі специфічні особливості відповідної галузі організаційної діяльності, що акцентуються у конкретному рішенні, а спеціалісти - відповідальність за них.

За методом обробки інформації можуть бути алгоритмічними і евристичними. В основі перших лежить використання аналогії з ситуаціями, що мали місце у минулому. Такі рішення приймаються за заздалегідь розробленими процедурами. Евристичні рішення приймаються на основі використання логічних засобів при виникненні складних нетипових задач. При прийнятті таких рішень виникає необхідність мати справу з безліччю незалежних змінних, тому заздалегідь неможливо передбачити й оцінити наслідки кожного варіанту рішень без спеціальних попередніх досліджень. Семантичні рішення найчастіше приймаються у вербальній формі за допомогою питомих мовних засобів, створюючи такі образи, які зрозумілі тільки персоналу організації і під їх впливом набуваючи нового значення, що відображається в рішенні. Наприклад, "жереб кинуть", "поставити крапки над "і". Емерджентні рішення націлені на взаємодію внутрішніх або зовнішніх факторів з метою отримання додаткового ефекту, наприклад, при вдалому збігу обставин.

Вагомим критерієм класифікації є підстава рішення, що приймається. Такою підставою можуть бути відпрацьовані процедури та етапи прийняття та реалізації визначеного рішення, що формує алгоритм прийняття рішень, які, в свою чергу, складаються у типові рішення. Найбільш ефективні такі рішення у стабільних умовах, при ситуаціях, що часто повторюються. Перевагою даного типу рішення будуть швидкість прийняття та економічність (витрати на отримання та обробку інформації мінімальні). На відміну від останніх, креативні рішення набувають таких особливих рис, які є інноваційними або для організації та її підрозділів, або для середовища, в якому організація реалізує свою стратегію і мету. Такі рішення вимагають вироблення спеціальної методики для конкретного випадку.

Всі рішення, що приймаються в процесі управління, можуть бути віднесені за масштабам впливу або до загальних, або до локальних (часткових). Загальні рішення стосуються всієї системи в цілому. Вони приймаються по відношенню до усієї організації (наприклад, перспективи розвитку підприємства, перехід на нову систему господарської діяльності тощо). Загальні рішення визначають якісні модифікації на підприємстві. Прийняття їх вимагає системного підходу і спеціальної підготовчої роботи. Локальні рішення стосуються поточних, окремо визначених питань роботи організації. Ситуації, що вимагають такого виду рішень, виникають в організаціях часто. Локальні рішення приймаються на всіх рівнях системи управління. До них відносять, наприклад, рішення про порушення виробничої або технологічної дисципліни, про зміни у порядку роботи, про елімінацію окремих недоліків. Тематичні рішення підпорядковані обраному напрямку досягнення цілі за окремою проблемою, вирішення якої дозволить створити або нові умови для подальшого розвитку, або нові можливості для організації. До такого типу рішень відносять рішення за науково-технічним напрямом, або соціальної спрямованості.

За очікуваними результатами рішення, що приймаються, характеризуються можливістю прогнозування їхніх результатів або наслідків, що, в свою чергу, вимагає або не вимагає попереднього аналізу, досліджень, розрахунків і експериментів. За цією ознакою розрізняють рішення з певним результатом - детерміновані - характерні для ситуацій, що не дають приводу вагатись у правильності прийнятого керівником рішення. При прийнятті рішень з вірогідним результатом приходиться мати справу з безліччю незалежних змінних. Наслідки цих рішень носять неоднозначний характер і містять ризик, який може бути оцінений з достатнім ступенем надійності за допомогою засобів прогнозування, з використанням теорії ймовірностей і на основі досвіду та інтуїції. Тому такі рішення вважаються ризикованими.

За напрямом впливу рішення діляться на зовнішні і внутрішні. Зовнішні - це рішення направлені на інший рівень управління (наприклад, рішення міністерства по відношенню до галузі, корпорації або об'єднання підприємств).

Внутрішні – це рішення, що охоплюють лише внутрішню систему підприємства. Внутрішні рішення, в свою чергу, розподіляються на рішення для керованої підсистеми (наприклад, розпорядження про упорядкованість ходу виробництва, його обслуговування) і рішення для керуючої підсистеми (наприклад, про модифікацію структури й упорядкуванню дій окремих підрозділів керуючої підсистеми).

За функціональним змістом рішення можуть бути організуючі, координуючі, активізуючі, регулюючі, контролюючі, облікові та ін. їх зміст визначається змістом функцій, які реалізуються в системі менеджменту.

За способом прийняття та організацією підготовки управлінських рішень підрозділяються на індивідуальні і колективні. Індивідуальні - це рішення, що виробляється і приймається керівником (менеджером) без їх обговорень та погоджень з іншими менеджерами. У більшості випадків це - короткострокові рішення, що стосуються непринципових ситуацій. У виняткових випадках топ-менеджер може прийняти індивідуальне рішення виключної важливості. Колективні рішення виробляються на зборах або нарадах всіма їх учасниками. Прийняття рішень здійснюється голосуванням, характер якого фіксується в установчих документах або безпосередньо на зборах.

За широтою охоплення та характером взаємозв'язку рішення поділяються на системні - рішення, які призведуть до змін у всіх підсистемах організації та їх зв'язках як у внутрішньому, так і у зовнішньому середовищі і результати яких будуть мати зворотній зв'язок на майбутні рішення. Наскрізні - рішення, що націлені на посилення взаємозв'язків між окремими підсистемами організації, або між стадіями життєвого циклу об'єкта управління, або між

рівнями управління по вертикалі, або між рівнями управління по горизонталі. Наскрізні рішення, як правило, пов'язані єдиною програмою щодо реалізації означеної мети. Рамкові рішення, які мають чітко визначені умови реалізації, тобто мають визначені обмеження, що лучно відрізняє їх від інших рішень, враховуючи підпорядкованість загальному рішенню, до складу якого воно входить.

За ступенем відкритості управлінські рішення підрозділяються на транспарентні, які характеризуються високим ступенем публічності, тобто доступність для широких кіл користувачів інформацією щодо стану об'єкту та перспективного розвитку. Захищені рішення мають на меті недоступності інформації щодо стану об'єкту та перспективного розвитку задля збереження безпеки та конкурентоспроможності цього об'єкта.

Управлінське рішення повинно задовольняти ряду вимог:

- бути науково обґрунтованим, прийматися на основі вірогідної, повної і своєчасної інформації з аналізом й оцінкою можливих альтернатив;
- мати зрозуміле цільове спрямування і адресу (повинно бути зрозуміло, на що направлене прийняте рішення, ким та за допомогою яких засобів буде виконане);
- бути несуперечливим;
- відрізнятися швидкістю і своєчасністю;
- визначатись точністю, можливістю бути контрольованим;
- бути комплексним, тобто прийматися з урахуванням всіх факторів (технічних, організаційних, соціально-психологічних);
- бути економічним і ефективним.

Поділ управлінських рішень за класифікаційними ознаками свідчить про розуміння всіма учасниками поставленого завдання. Це дає можливість визначити структуру та склад необхідної для розроблення рішення інформації, що, у свою чергу, сприяє зосередженню зусиль, оптимізації витрат часу і ресурсів при прийнятті управлінських рішень.

#### **Теми доповідей для заслуховування та обговорення:**

1. Аналітичний підхід в науковому пізнанні та практиці.
2. Системні закони і їх роль в аналітичній діяльності.
3. Змістовний опис функцій управління.
4. Якість і кількість інформації під час досліджень.
5. Конфлікти та компроміси.
6. Основні принципи оптимальності.
7. Прийняття рішень в умовах невизначеності.
8. Прийняття рішень в умовах ризику.

#### **Питання для перевірки знань:**

1. Визначення поняття «наукова проблема».
2. Генезис наукової проблеми.
3. Етапи вирішення наукової проблеми.
4. Постановка і розробка наукових проблем.
5. Сутність формалізації.
6. Сутність декомпозиції.
7. Поділ протиріч.
8. Технічні протиріччя.
9. Стратегія вирішення винахідницької задачі.
10. Основні прийоми усунення протиріч.
11. Ознаки наукової проблемної ситуації.
12. Основні функції проблемної ситуації.
13. Класифікація проблемної ситуації.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

- I. Вивчити матеріал попередньої лекції та даного практичного заняття.
- II. Пройти тестування: тест 4.2. за посиланням <https://forms.gle/SaPNKhos5qA2mqKi6>



## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 ОСНОВНІ МЕТОДИ РІШЕННЯ ЗАВДАНЬ МОДЕЛЮВАННЯ

### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйомов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними методами рішення завдань моделювання.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Питання для обговорення:

1. Особливості наукового пізнання при допомозі моделювання.
2. Методи наукового пізнання.
3. Основні методи вирішення задач моделювання.

### Теоретична частина:

#### **1. Особливості наукового пізнання при допомозі моделювання.**

Моделювання – це процес створення та дослідження моделі, а модель – засіб, форма наукового пізнання.

Моделювання – складна, трудомістка і відповідальна наукова задача. Іноді дослідження за допомогою моделей є єдино можливим способом експериментального вивчення технологічних процесів. Так, процеси, які тривають багато років, можна вивчати на моделях протягом короткого проміжку часу. І навпаки, швидкоплинні процеси вивчаються на моделях протягом більш довгого часу.

Моделювання різних фізичних процесів виходить з подібності явищ, що розглядаються. Два явища називаються подібними, якщо за характеристиками одного можна одержати характеристики іншого шляхом простого перерахунку. Умовами або критеріями подібності двох явищ є рівності деяких безрозмірних параметрів, які називаються числами або критеріями подібності. Визначення критеріїв подібності при моделюванні процесів, що вивчаються, потребує глибокого знання механізму цих процесів і є досить важкою задачею. При рішенні цієї задачі усі досліджувані процеси слід розділяти на дві суттєво різні групи. До першої групи потрібно віднести процеси і явища, які можна описати рівняннями, до другої, яка становить найбільший інтерес, – процеси і явища, які ще не мають математичного опису. У випадках, коли рівняння досліджуваних процесів невідомі, числа подібності можна знайти за теорією розмірностей. При наявності диференціальних рівнянь досліджуваних процесів числа подібності легко визначаються, як коефіцієнти рівнянь, які представлені в безрозмірному вигляді. Природно, що одержання критеріїв подібності при наявності рівнянь значно простіше, ніж при їх відсутності. Тому теорію розмірностей слід застосовувати для отримання критеріїв подібності тільки при дослідженні процесів, які не мають математичного опису.

Під моделлю розуміється об'єкт будь-якої природи (мислено уявлена або матеріально реалізована система), котрий, відображаючи чи відтворюючи в певному сенсі об'єкт дослідження, здатний заміщати його так, що вивчення моделі дає нову інформацію про об'єкт.

Методом моделювання називається такий загальнонауковий метод дослідження, при якому вивчається не сам об'єкт пізнання, а його зображення у вигляді так званої моделі, однак результат дослідження переноситься з моделі на об'єкт.

Моделювання як метод пізнання використовується тоді, коли безпосереднє дослідження оригіналу неможливе або естетично не рекомендоване. Під моделлю потрібно розуміти об'єкт, який відповідає іншому об'єкту (оригіналу), замінює його при пізнанні і дає про нього або про його частини інформацію.

Моделі зазвичай бувають у вигляді малюнків, креслень, схем, таблиць, матриць, символів або описуються у вигляді тексту. В модель включають важливі з точки зору пізнання риси і виключають несуттєві. Моделі в широкому розумінні повинні відображати будь-що із об'єктів реального світу, що підлягає вивченню. Моделі, які використовуються в науці, поділяються на дві групи:

До першої групи відносяться всі матеріальні предметні моделі, які імітують структуру або функції об'єкта й безпосередньо сприймаються органами відчуття.

До другої групи належать обчислювальні моделі, які існують як відображення об'єктів, що не можуть бути безпосередньо сприйняті за допомогою органів відчуттів. Їх поділяють на наочно-образні і логікосимволічні. Наочно-образні моделі бувають у вигляді слів, схем, креслень або просторових конструкцій. Логіко-символічні (знакові) моделі будуються як логічні і математичні обрахунки, в них особливості реальних явищ представлені символами, і тому їх називають математичними моделями.

## **2. Методи наукового пізнання**

Метод – це спосіб досягнення поставленої мети. Метод об'єднує суб'єктивні і об'єктивні аспекти пізнання. Метод є об'єктовним, оскільки дозволяє відображати дійсність та її взаємозв'язки. Одночасно з цим, метод суб'єктивний, оскільки є знаряддям думки дослідника та включає в себе його суб'єктивні особливості.

Методи досліджень бувають: загальні, що діють у всіх галузях науки і на всіх етапах дослідження; загальнонаукові, тобто придатні для всіх наук; часткові - для певних наук; спеціальні - для однієї специфічної науки. Дамо коротку характеристику основних загальнонаукових методів пізнання.

Спостереження – це спосіб безпосереднього вивчення предметів і явищ за допомогою органів чуття без втручання в процес, з боку дослідника.

Порівняння – це виявлення відмінностей між об'єктами матеріального світу або знаходження в них спільного за допомогою органів чуття та спеціальних пристроїв.

Підрахунок – це знаходження числа, що визначає кількісне співвідношення однотипних об'єктів або їх параметрів, котрі характеризують ті чи інші властивості.

Вимірювання – це фізичний процес визначення числового значення певної величини шляхом порівняння її у еталоні (як правило забезпечується вимірювальним приладом).

Експеримент – це одна із сфер людської практики, в результаті якої перевіряється істинність гіпотези або виявляються закономірності об'єктивного світу. Під час експерименту дослідник втручається в процес, який він вивчає, з метою пізнання.

Узагальнення – визначення загального поняття в якому відображається головне або основне, що характеризує об'єкти певного класу. Це засіб для утворення нових наукових понять, формулювання законів і теорій.

Абстрагування – це відвертання уваги в думках від несуттєвих властивостей, зв'язків, відношень предметів і виділення декількох сторін, що цікавлять дослідника. Абстрагування здійснюється в два етапи.

На 1-му етапі визначають несуттєві властивості, зв'язки тощо;

На 2-му - досліджуваний об'єкт замінюють іншим, більш простим, тобто спрощеною моделлю, яка зберігає головне в складному.

Формалізація – це відображення об'єкта або явища в знаковій формі певної спеціальної мови (математики, фізики, біології, хімії тощо) і забезпечення можливостей дослідження реальних об'єктів та їх властивостей через формальне дослідження відповідних знаків.

Аналіз – метод пізнання, при якому предмет дослідження (об'єкт, властивості тощо) розкладається на окремі складові частини. У зв'язку з цим аналіз лежить в основі аналітичного методу досліджень.

Синтез – це поєднання окремих сторін предмета дослідження в єдине ціле. Аналіз і синтез взаємозв'язані та уособлюють єдність протилежностей.

Розрізняють такі види аналізу і синтезу: прямий або емпіричний метод (використовують для виділення окремих частин об'єкта); елементно - теоретичний метод (базується на уявленнях про причину - наслідкові зв'язки різних явищ); структурно - генетичний метод (вилучення із складного явища таких елементів, які створюють вирішальний вплив на решту сторін об'єкта).

Важливими поняттями в теорії пізнання є індукція - умовивід від фактів до деякої гіпотези, та дедукція - умовивід, в якому висновок про деякий елемент множини робиться на основі знань загальних властивостей всієї множини. Найважливіше правило дедукції формулюється так: „ Якщо із висловлювання А слідує висловлювання В, а висловлювання А є істинним, то В також є істинним”.

Ідеалізація – прийом науково-теоретичного дослідження, заснований на процесі абстракції, формування ідеалізованого об'єкта. Ідеалізовані об'єкти не існують у дійсності – наприклад, геометрична точка, пряма, абсолютно чорне тіло, ідеальний газ і т.п. Створення ідеалізованого об'єкта дозволяє виділити істотні його сторони, спростити і завдяки цьому уможливити застосування для його опису точних кількісних методів. Процес наукового пізнання починається з постановки проблеми.

Судження – це думка, в якій через зв'язок понять стверджується або заперечується будь-що. Судження виражається мовою у вигляді речення.

Судження поділяють за такими ознаками: якість, кількість, відношення. За якістю судження бувають позитивні й негативні; за кількістю - загальні, часткові й поодинокі; за відношенням - категоричні, умовні й роздільні. До судження про предмет або явище людина може дійти або шляхом безпосереднього спостереження якогось факту, або через умовивід.

Проблема – це форма та засіб наукового пізнання, в яких поєднується два елементи, знання про незнання, і передбачення можливості наукового відкриття.

Проблема – те, що потрібно пізнати, знання про незнання. Постановка проблеми обумовлена потребами практичної діяльності і протиріччями між існуючими теоріями і новими фактами. При її постановці важливо: по-перше, усвідомлення деякої ситуації як задачі; по-друге, чітке розуміння змісту проблеми, її формулювання з розмежуванням відомого і невідомого. Постановка проблеми містить у собі якість попереднє знання шляхів її рішення, для чого необхідний вихід за рамки досягнутого знання.

Інтуїція – метод пізнання, що є вираженням безпосередності у процесі пізнання на відміну від опосередкованого, дискурсивного характеру пізнання), вирішення проблеми на основі ірраціонального здогаду. Елемент безпосередності є діалектичною єдністю чуттєвого та раціонального. Протилежність інтуїції тобто пізнанню розсудом є відносна, інтуїтивне і логікодискурсивне є тими моментами творчого мислення, для яких характерне взаємопроникнення. Інтуїція не існує в чистому й ізольованому вигляді.

Інтуїція - якісний стрибок у пізнанні, підготовлений усім його попереднім розвитком. Інтуїтивний творчий акт можна тлумачити як «ущільнення» в часі, згортання й перехід до сфери підсвідомого якихось алгоритмів мислення. Алгоритмічна послідовність має здатність «ущільнюватися» до невлесних самим дослідником меж. Інтуїтивний акт щоразу опосередкований наявним знанням. Нагромадження досвіду й цілеспрямованість індивіда на розв'язання певного завдання (пізнавальна ціль постає в ролі домінанти, що підпорядковує собі всі процеси в корі й підкірці головного мозку) є необхідною передумовою інтуїтивного акту.

### **3. Основні методи вирішення задач моделювання.**

На етапі програмної реалізації моделі та реалізації плану експериментів необхідний вибір методів розв'язання задач моделювання. При цьому використовуються три основні групи методів:

Графічні - оцінні наближені методи, засновані на побудові та аналізі графіків.

Аналітичні – рішення, суворо отримані у вигляді аналітичних виразів (придатні для вузького кола завдань).

Чисельні - основний інструмент вирішення складних математичних завдань, заснований на застосуванні різних чисельних методів.

Аналітичне рішення вдається отримати рідко і частіше лише при спрощеному формулюванні задачі у лінійному наближенні. Основним засобом рішення є алгоритмічний підхід, що реалізує обчислювальний експеримент на ЕОМ. Рішення, що виходить на ЕОМ, майже завжди містить деяку абсолютну похибку.

Наявність похибки рішення обумовлено низкою причин. Перелічимо основні джерела похибки.

1. Математична модель є лише наближеним описом реального процесу (похибка моделі).

2. Вихідні дані, як правило, містять похибки, оскільки є результатами експериментів (вимірювань), або рішеннями допоміжних завдань (похибка даних).

3. Застосовувані на вирішення завдання методи найчастіше є наближеними (похибка методу).

4. При введенні вихідних даних в ЕОМ, виконанні операцій проводять округлення (обчислювальна похибка).

Похибки 1 і 2 - непереборні на даному етапі рішення, для їх зменшення доводиться повертатися знову до побудови математичної, а іноді і концептуальної моделі, проводити додаткове експериментальне уточнення умов завдання.

Оцінка обумовленості обчислювальної задачі - ще одна обов'язкова вимога при виборі методу вирішення та побудова математичної моделі.

Нехай обчислювальне завдання коректне. Теоретично стійкість завдання означає, що її рішення може бути знайдено з якою завгодно малою похибкою, якщо тільки гарантувати досить малу похибку вхідних даних. Обчислювальні методи перетворюються на вигляд, зручному для програмної реалізації. Можна виділити такі класи чисельних методів:

Метод еквівалентних перетворень - вихідне завдання замінюють іншою, що має те саме рішення

Методи апроксимації - замінюють вихідне завдання інше, вирішення якої близьке до вирішення вихідного завдання

Методи звичайно-різнісні, засновані на заміні похідних кінцевими різницями.

Прямі (точні) методи - рішення може бути отримано за кінцеве число елементарних операцій (арифметичні та вилучення кореня). Багато прямих методів не годяться до застосування в ЕОМ через чутливість до помилок округлення.

Ітераційні методи – методи послідовних наближень до вирішення задачі. Задається початкове наближення рішення, будується ітераційна послідовність наближення рішення. Якщо ця послідовність сходиться до рішення, то кажуть, що ітераційний процес сходиться. Безліч початкових наближень, котрим метод сходиться, називаються областю збіжності методу.

Метод статистичних випробувань (Монте-Карло) - заснований на моделюванні випадкових величин та побудові статистичних оцінок рішень задач (для моделювання великих систем).

Чисельні методи групуються навколо типових математичних завдань: завдань аналізу, алгебри, оптимізації, розв'язання диференціальних та інтегральних рівнянь, зворотних завдань (синтез).

#### **Теми доповідей для обговорення:**

1. Комп'ютерне моделювання.
2. Математичне моделювання.
3. Евристичне моделювання.
4. Фізичне моделювання.
5. Інформаційне моделювання.
6. Цифрове моделювання.
7. Логічне моделювання.
8. Моделювання на основі елементів прогнозування.

#### **Питання для перевірки знань:**

6. Що собою уявляє модель?

7. Що собою уявляє моделювання?
8. Поняття «модель», «моделювання».
9. Основні види моделей.
10. Основні властивості моделей.
11. Цілі моделювання.
12. Основні методи вирішення задач моделювання.
13. Класифікація моделей за областю використання.
14. Класифікація моделей за способом моделювання.
15. Класифікація моделей за призначенням.
16. Класифікація моделей за способом побудови моделі.
17. Класифікація моделей за принципом побудови.
18. Класифікація моделей за типом опису мови моделі.
19. Класифікація моделей за фактором часу.
20. Класифікація моделей за формою подання.
21. Класифікація моделей за ознакою реалізації.
22. Типи інформаційних моделей.
23. Образно-знакові моделі. Знакові моделі.
24. Фізичне (натурне) моделювання.
25. Структурно-функціональне моделювання.
26. Математичне (логіко-математичне) моделювання. Класифікація математичних моделей.
27. Імітаційне (комп'ютерне) моделювання.
28. Задачі, що пов'язані з математичними моделями.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповідь за темою:

1. Статистичне моделювання.
2. Структурне моделювання.
3. Економіко-математичне моделювання.
4. Імітаційне моделювання.
5. Еволюційне моделювання.
6. Історичне моделювання.
7. Нечітке моделювання.
8. Модельне моделювання.
9. 3D моделювання.
10. Мова моделювання.

II. Пройти тестування: тест 5.2. за посиланням <https://forms.gle/NCZ1xm6SAbL1wQJ76>

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 КОНТРОЛЬ ПРАВИЛЬНОСТІ МОДЕЛІ**

### **Література:**

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйомов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### **Мета заняття:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої з контролем правильності моделей.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### **Питання для обговорення:**

1. Основні етапи моделювання.
2. Прийоми для контролю правильності моделі.

### **Теоретична частина:**

#### **1. Основні етапи моделювання.**

1. Постановка задачі моделювання.

Початку моделювання передуює постановка змістовної задачі моделювання, перехід від когнітивної моделі до формулювання у словесній формі основних питань про об'єкт моделювання. Правильна постановка завдання дуже важлива, оскільки помилка тут вимагатиме повернення до побудови моделі з самого початку. Змістова постановка завдання, звана у технічних дисциплінах технічним завданням, надалі уточнюється і конкретизується, проте принципи основні положення залишаються незмінними.

2. Концептуальне формулювання завдання.

На основі змістовної моделі розробляється концептуальне формулювання завдання моделювання.

3. Побудова математичної моделі.

Складання математичної моделі об'єкта - сукупності математичних співвідношень, що описують його поведінку та властивості. Із законів та визначальних виразів предметної дисципліни формуються рівняння моделі.

4. Вибір методу рішення.
5. Реалізація моделі.

6. Перевірка адекватності моделі

Необхідною вимогою, якій повинна відповідати кожна модель, є адекватність - відповідність результатів, отриманих при моделюванні, даним експерименту, теоретичним положенням або тестовим прикладам.

7. Аналіз результатів моделювання

Аналіз результатів моделювання – необхідний етап грамотного розв'язання будь-якого завдання. Такий аналіз дозволяє:

1. Отримати уявлення про поведінку об'єкта за різних умов, знайти оптимальні характеристики процесу.

2. Визначити сферу застосування моделі.

3. Оцінити обґрунтованість прийнятих під час побудови моделі гіпотез, визначити шляхи її вдосконалення.

Моделі структурованих даних та технології їх обробки засновані на одному з трьох способів організації зберігання даних: у вигляді лінійного списку (або табличному), ієрархічному (або деревоподібному), мережному.

Цей етап найпростіший, щодо його виконання потрібно вміння виділяти у предметній області найважливіші характеристики на вирішення завдання й виявляти способи розв'язання завдань, прийняті практично, і навіть потрібні спеціальні знання й уміння моделювання предметної області. Тому часто залучаються математики (або системотехніки – аналітики), якщо предметна область надто складна.

В результаті формалізації створюється математична модель предметної області, яка записується засобами різних видів математичних моделей, визначаються вхідні та вихідні дані для завдання (або комплексу завдань). Або просто формується строгий опис завдання, оскільки не всяка предметна область може бути описана засобами будь-якої математичної моделі (так звані області, що слабо формалізуються або неформалізуються).

## 2. Прийоми для контролю правильності моделі.

Для контролю правильності отриманої моделі може використатися ряд прийомів:

– аналіз розмірності – величини в лівій і правій частині вираження, окремі доданки в кожній із частин повинні мати однакову розмірність;

– перевірка порядків і характерів залежностей – параметри й змінні, які в даному завданні виражені величинами більшого порядку малості, можуть бути виключені з розгляду як несуттєві, що часто дозволяє значно спростити модель й її аналіз. Характер зміни значень величин, які моделюються, повинен відповідати їхньому реальному змісту, не суперечити спостережуваним даним;

– дослідження граничних випадків – результати моделювання при крайніх значеннях параметрів моделі, рівних, як правило, нулю або нескінченності, не повинні суперечити змісту (наприклад, енергія реальної фізичної системи не може виявитися нескінченно великий, час протікання процесу – негативним і т.п.). Модель у цьому випадку істотно спрощується й легше для розуміння;

– перевірка замкнутості й коректності математичного завдання – система математичних співвідношень повинна мати єдине рішення.

Завдання називається коректним, якщо воно задовольняє трьом вимогам:

1) його рішення існує при будь-яких припустимих вхідних даних;

2) це рішення єдине (однозначно визначене);

3) рішення неперервно залежить від даних завдання - стійке стосовно малих збурень вхідних даних.

Рішення обчислювального завдання називається стійким за вхідними даними  $X$ , якщо воно залежить від вхідних даних безперервним чином; тобто для будь-якого  $\varepsilon > 0$  існує  $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$  таке, що всяким вихідним даним  $x^*$ , які задовольняють умові  $\Delta(x^*) < \delta$ , відповідає наближене рішення  $y^*$ , для якого  $\Delta(y^*) < \varepsilon$ .

Далеко не всі практичні завдання є коректними. До них, наприклад, не відносяться зворотні завдання геофізики, астрофізики, спектроскопії, розпізнавання образів, синтез і багато інших важливих прикладних проблем. Властивість коректності завдання має велике значення для вибору методу рішення. До некоректних завдань незастосовні звичайні чисельні методи обчислювальної математики. Строгий аналіз коректності в багатьох випадках математично складний, і обмежується перевіркою відповідності кількості невідомих й рівнянь моделі, які їх зв'язують.

### Теми доповідей для заслуховування:

1. Сутність аналізу розмірностей під час контролю правильності моделі. Приклад.

2. Сутність перевірки порядків і характерів залежностей під час контролю правильності моделі. Приклад.

3. Сутність дослідження граничних випадків під час контролю правильності моделі. Приклад.

4. Сутність перевірки замкнутості й коректності математичного завдання під час контролю правильності моделі. Приклад.

#### **Питання для перевірки знань:**

29. Постановка задачі моделювання.
30. Концептуальне формулювання завдання.
31. Побудова математичної моделі.
32. Вибір методу рішення.
33. Реалізація моделі.
34. Перевірка адекватності моделі.
35. Аналіз результатів моделювання.
36. Прийоми для контролю правильності моделі.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

I. Вивчити попередній матеріал лекції та даного практичного заняття.

II. Пройти тестування за темою лекції: тест 6.2. за посиланням <https://forms.gle/khNt7WpVgFUB39Ud9>



## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7**

### **ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

#### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйюмов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.
8. Дендаренко В. Ю. Модель процесу управління станом пожежної безпеки. Наукові праці. Комп'ютерні технології. 2014. С. 44–46.

#### **Мета заняття:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними моделями системи пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **Теоретична частина:**

##### **Модель процесу управління станом пожежної безпеки.**

З метою ідентифікації зовнішніх зв'язків створеної інформаційної системи моніторингу пожежної безпеки, які визначають її призначення, проводилась формалізація об'єкта досліджень як системи. Моніторингова інформаційна технологія здатна забезпечувати інформацією процеси прийняття рішень із управління пожежною безпекою заданої адміністративної території у випадку, коли поєднання методів, моделей та засобів збору, доставки, зберігання, обробки, перетворення та використання результатів моніторингу приводить до системного ефекту – нової властивості у вигляді інформації про комплексну впливовість факторів на стан пожежної безпеки та прогнозовані показники, що характеризують зміну втрат ресурсів під впливом заходів із запобігання надзвичайних ситуацій.

Модель процесу управління дозволяє визначити зовнішні зв'язки об'єкта шляхом формалізації його призначення – забезпечення інформацією процесу формування керуючих впливів. Модель дозволяє формалізувати глобальні завдання інформаційної системи моніторингу та сформулювати вимоги до глобальної функції цієї системи. Шляхом декомпозиції глобальної функції системи отримується відповідна кількість локальних рівнів, задачі яких реалізуються шляхом синтезу локальних алгоритмів перетворення інформації (АПІ).

У якості локального АПІ використовуються моделі об'єктів моніторингу відповідного рівня. Досліджуються особливості синтезу моделей об'єктів моніторингу пожежної безпеки. Формалізується задача забезпечення відповідності між вимогами до моделей та можливостями засобів їх синтезу.

У процесі ієрархічного поєднання моделей об'єктів моніторингу пожежної безпеки за методом їх висхідного синтезу, процесам формування масиву вхідних даних (МВД) приділяється особлива увага. Структура моделей об'єктів моніторингу наступного рівня перетворення інформації формуються автоматично синтезатором із показників МВД і якість моделей безпосередньо визначається інформативністю масиву цих показників.

Відображення вертикальних структурних зв'язків та горизонтальних взаємозв'язків між моделями одного рівня досліджується в процесі розв'язання задачі координації взаємодій

локальних АПІ з метою реалізації глобальної функції. Мова йде про формалізацію процесу структурно-функціональної ідентифікації глобальної функції системи перетворення інформації.

Результати теоретичних досліджень дозволяють формалізувати інформаційну технологію багаторівневого моніторингу пожежної безпеки.

Управління пожежною безпекою передбачає забезпечення в будь-який момент часу наперед визначеного її стану, показники якого нормовані відповідними державними актами. Процес управління реалізується шляхом моніторингу нормативних показників стану пожежної безпеки а також розробки комплексу керуючих впливів та стратегії їх застосування у вигляді плану заходів із профілактики надзвичайних ситуацій, зокрема пожеж.

Функцію моніторингу та управління станом пожежної безпеки виконує державна інспекція техногенної безпеки. Вона забезпечує періодичний контроль нормативних показників, наповнення бази даних, їх обробку, та забезпечує приведення показників пожежної безпеки на об'єктах нагляду до вимог нормативних документів.

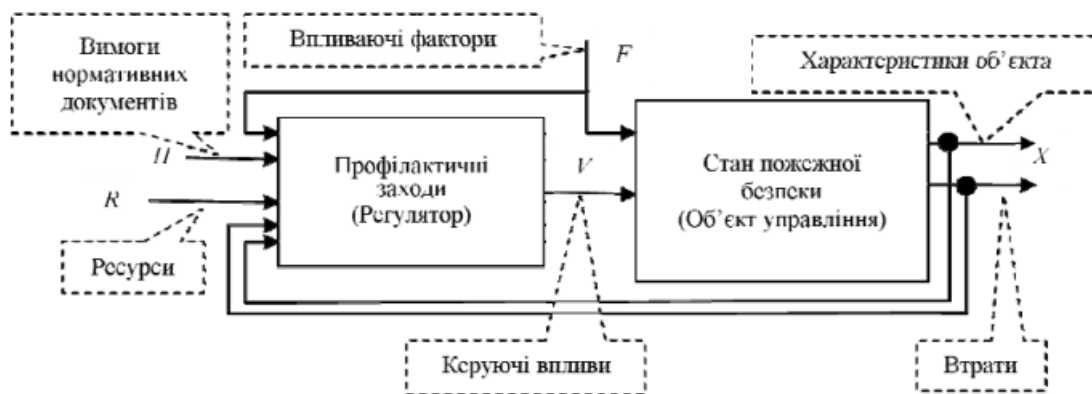


Рис. 1. Модель управління пожежною безпекою

Об'єктом управління є стан пожежної безпеки, показники якого містять чисельні характеристики нормативних показників стану об'єктів нагляду та характеристики втрат від пожеж та їх наслідків.

Регулятор поєднує МІС, яка забезпечує інформацією процес формування керуючих впливів, та особу, що приймає рішення (ОПР), яка формує керуючі впливи у вигляді плану профілактичних заходів та забезпечує їх реалізацію.

Оскільки зміна вхідних сигналів впливає на зміну керуючих впливів опосередковано через ОПР, досліджується розімкнута система управління.

Характеристики стану пожежної безпеки:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\},$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – спостережені характеристики нормативних показників стану пожежної безпеки об'єктів, які отримані внаслідок їх експертизи. Перелік задається нормативними документами та позначений в моделі множиною  $H = \{h_1, h_2, \dots, h_m\}$ ;

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\},$$

де  $y_1, y_2, \dots, y_k$  – показники втрат внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах різного призначення певної адміністративної території;

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_s\},$$

де  $z_1, z_2, \dots, z_s$  – показники втрат внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій на адміністративній території в цілому,

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_r\},$$

де  $f_1, f_2, \dots, f_r$  – чисельні характеристики відомих чинників, що зумовлюють можливість виникнення та (або) розвитку пожежі на об'єкті та впливають на показники множини  $X$ , а також подаються на вхід регулятора системи управління.

Регулятор перетворює вхідну інформацію у вигляді масиву вхідних даних до вигляду множини характеристик впливовості показників

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_r, w_{r+1}, \dots, w_m\},$$

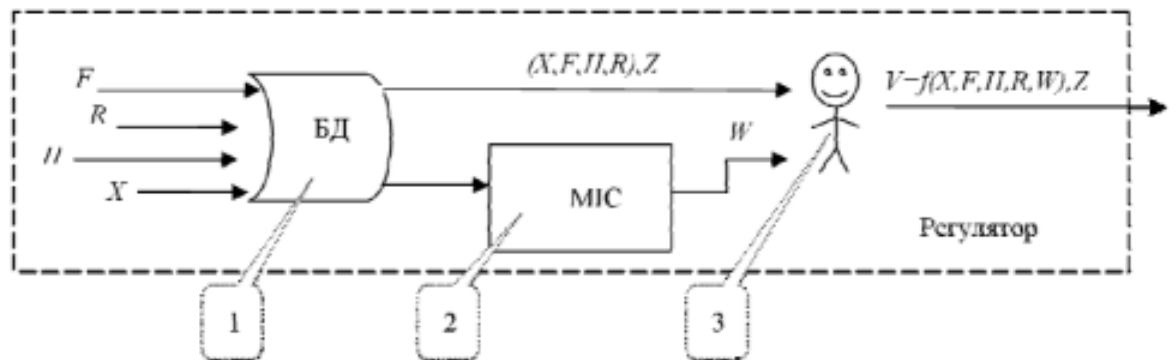
де  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – показники впливовості зовнішніх факторів та нормативних показників стану об'єкта, а також прогнозованих втрат від надзвичайних ситуацій. На основі цієї інформації формуються керуючі впливи.

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\},$$

де  $v_1, v_2, \dots, v_n$  – перелік профілактичних заходів.

Регулятор призначений забезпечувати бажаний характер роботи системи. В інформаційній системі моніторингу пожежної безпеки свої функції він реалізує шляхом

періодичного моніторингу стану пожежної безпеки за нормативними показниками та причин виникнення надзвичайних ситуацій, виявляє їх індивідуальну впливовість при їх комплексній дії та реалізує отриману інформацію при організації профілактичної діяльності цього підрозділу. Структурна схема регулятора подана на рис. 2.



**Рис. 2.** Структура регулятора: 1 – база даних; 2 – моніторингова інформаційна система; 3 – особа, що приймає рішення (ОПР)

На вхід бази даних подаються показники стану об'єкта управління та характеристики втрат внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій  $X$ , відомості про виділені для проведення профілактики ресурси  $R$ , значення нормативних показників пожежної безпеки  $Z$  та результати спостережень за впливаючими факторами  $F$ . Моніторингова інформаційна система обробляє ці дані та перетворює інформацію із вигляду масиву вхідних даних, який містить чисельні характеристики елементів множин  $X$  та  $F$ , характеристик впливовості  $W$  елементів масиву вхідних даних на характеристики втрат.

ОПР формує план профілактичних заходів на основі отриманої інформації про зміну впливовості факторів впродовж останнього періоду часу шляхом розподілу наявних ресурсів  $R$ , пропорційно чисельним значенням елементів множини  $W$ . Управління пожежною безпекою адміністративної території у цілому реалізовується шляхом застосування множини керуючих впливів  $V$  – комплексу заходів, що поєднані в стратегії та мають на меті попередження загорянь, мінімізації збитків, а також загиблих та травмованих  $Z$  унаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та мінімізації витрат ресурсів  $\Psi$  на реалізацію керуючих впливів. Множина витрат  $\Psi$  описуються виразом:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}.$$

Кожен із елементів масиву  $\Psi$  може бути поданий у вигляді функціональної залежності:

$$\psi_i = f(v_i), \quad i = 1, n,$$

де  $v_i$  – керуючий вплив (планований захід для підрозділу ДСНС);

$n$  – кількість заходів, що містить план діяльності підрозділів ДСНС цієї адміністративної території.

При визначенні переліку керуючих впливів забезпечують мінімізацію витрат ресурсів на їх реалізацію, відповідно виразу:

$$\psi_1(v_1) \rightarrow \min, \psi_2(v_2) \rightarrow \min, \dots, \psi_n(v_n) \rightarrow \min$$

#### **Теми доповідей для заслуховування та обговорення:**

1. Моделі вербальні, формальні, алгоритмічні, графічні, фізичні.
2. Моделі геометричні, структурні, акціональні, інформаційні.
3. Моделі статичні, моделі динаміки.
4. Моделі процесів, перетворень і систем.
5. Моделі детерміновані, стохастичні, нечіткі, узагальнені.
6. Моделі агрегатні, комплексні.
7. Моделі аналітичні, імітаційні.

**Питання для перевірки знань:**

37. Визначення поняття «модель».
38. Стапи створення моделі.
39. Класифікація видів моделей за ознакою повноти.
40. Наочні моделі.
41. Символічні моделі.
42. Математичні моделі.
43. Імітаційні моделі.
44. Оптимізаційні моделі.
45. Детерміновані та стохастичні моделі.
46. Безперервні та дискретні математичні моделі.
47. Динамічні моделі та статичні моделі.
48. Структурно-функціональні моделі.
49. Інформаційні моделі.
50. Ситуаційні моделі.
51. Предметні моделі.
52. Фізичні моделі.
53. Аналогові моделі.
54. Цифрові моделі.
55. Натурні моделі.
56. Мета експерименту.

**Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповідь за темою:

1. Проблеми моделювання пожеж.
2. Польові моделі пожеж.
3. Особливості моделювання людських потоків.
4. Особливості моделювання крупних пожеж.

II. Пройти тестування: тест 7.2. за посиланням <https://forms.gle/7ZdF4HxypnkBNvub7>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

### ОСНОВНІ МОДЕЛІ ПОЖЕЖ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ СТАДІЇ ЗАГОРЯННЯ

#### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.
3. Уйюмов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
4. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

#### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними моделями системи пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання для проведення дослідження складних об'єктів та процесів у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### Теоретична частина:

Пожежний ризик - міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкта захисту і її наслідків для людей і матеріальних цінностей

До основних пожежних ризиків Н. Н. Брушлинський відносить наступні:

- Ризик  $R_1$  для людини зіткнутися з пожежею (його небезпечними факторами) за одиницю часу. В даний час зручно цей ризик вимірювати в одиницях [пожежа /  $10^3$  чол. · год];
- Ризик  $R_2$  для людини загинути при пожежі (виявитися його жертвою). Тут одиниця виміру має вигляд: [жертва /  $10^2$  пожеж];
- Ризик  $R_3$  для людини загинути від пожежі за одиницю часу: [жертва /  $10^5$  чол. · год].

Ризик  $R_1$  характеризує можливість реалізації пожежної небезпеки, а ризик  $R_2$  і  $R_3$  - Деякі наслідки цієї реалізації. Дані ризики пов'язані співвідношенням:  $R_3 = R_1 \cdot R_2$

Як пожежних ризиків, що характеризують матеріальні збитки від пожеж, Н. Н. Брушлинський пропонує використовувати такі ризики:

- Ризик  $R_4$  знищення будівель в результаті пожежі: [знищене будова / пожежа];
- Ризик  $R_5$  прямих матеріальних збитків від пожежі.

Крім перерахованих вище пожежних ризиків можна розглядати ризики травмування при пожежах, як цивільних осіб, так і пожежних (причому можлива деталізація ризиків за видами травм); ризики виникнення пожеж з різних причин (блискавка, підпал, коротке замикання в електромережі, пічне опалення, ігри дітей тощо); ризики виникнення і розвитку пожеж в будівлях різного призначення, різної поверховості, різного ступеня вогнестійкості та ін.

Всі ці пожежні ризики становлять інтерес, зокрема, для страхових компаній, для фірм, які виробляють протипожежне обладнання, для проєктувальників будівель і споруд та інших фахівців.

Соціальний пожежний ризик - ступінь небезпеки, що веде до загибелі групи людей в результаті впливу небезпечних факторів пожежі;

Індивідуальний пожежний ризик - пожежний ризик, який може привести до загибелі людини в результаті впливу небезпечних факторів пожежі.

Таким чином, пожежних ризиків існує дуже багато, і всі їх потрібно вміти аналізувати для успішного протистояння пожежної небезпеки.

Пожежні ризики, по-перше, характеризують можливість реалізації пожежної небезпеки у вигляді пожежі та, по-друге, містять оцінки його можливих наслідків (а також обставин, що сприяють розвитку пожежі).

Отже, при їх визначенні необхідно знати частотні характеристики виникнення пожежі на той чи інший об'єкт, а також передбачувані розміри його соціальних, економічних і екологічних наслідків, обумовлених тими чи іншими обставинами.

Звідси випливає, що в багатьох випадках пожежники ризики можна оцінювати статистичними або імовірнісними методами, але в ряді випадків можуть знадобитися і інші методи.

Оцінка пожежного ризику повинна включати наступні взаємозв'язані етапи:

- ідентифікація небезпек, характерних для даного промислового підприємства;
- визначення переліку що ініціюють аварійну ситуацію подій;
- аналіз можливих аварійних ситуацій (включаючи встановлення частот їх реалізації);
- побудова безліч сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій і аварій (побудова логічних дерев подій);
- побудова полів вражаючих чинників, що виникають при різних сценаріях розвитку аварії;
- оцінка наслідків дії небезпечних чинників на людину.

Основним завданням етапу ідентифікації небезпек є виявлення і опис усіх джерел небезпек і сценаріїв їх реалізації. Визначення переліку що ініціюють аварійну ситуацію подій проводиться з метою виявлення можливих причин і місць виникнення аварійної ситуації. Розглядаються події, реалізація яких може привести до утворення горючого середовища і появи джерела запалення.

При ідентифікації небезпек і визначенні переліку подій, що ініціюють аварію, повинен виконуватися аналіз достатності для кількісної оцінки ризику інформації про підприємство і його проектні і технічні рішення.

Вирішення питання про достатність інформації здійснюється на основі зіставлення даних, таких, що містяться в проектній документації підприємства, і початкових даних, необхідних для проведення аналізу процесів виникнення аварій і дії їх вражаючих чинників на персонал.

Для виявлення аварійних ситуацій рекомендується здійснити ділення технологічного устаткування (технологічних систем об'єкту) на ділянки. Вказане ділення здійснюється, виходячи з можливості роздільної герметизації цих ділянок при виникненні аварії. Розглядаються аварійні ситуації як на основному, так і допоміжному технологічному устаткуванні.

Крім того, необхідно врахувати можливість виникнення пожежі в адміністративних будівлях, виробничих, складських, а також приміщеннях для допоміжного технологічного устаткування. У переліку аварійних ситуацій стосовно кожної ділянки, технологічної установки, будівлі і побудови промислового підприємства виділяються групи аварійних ситуацій, яким відповідають однакові моделі виникнення і розвитку аварії.

Для побудови безлічі сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій і аварій використовується метод логічних дерев подій. Логічне дерево подій призначене для графічного відображення загального характеру розвитку можливих аварійних ситуацій і аварій з віддзеркаленням причинно-наслідкового взаємозв'язку подій залежно від специфіки небезпеки об'єкту оцінки ризику з урахуванням впливу на них наявних захисних заходів. Це і є основою для оцінки ризику. Сценарій виникнення і розвитку аварійної ситуації і аварії на логічному дереві відбивається у вигляді послідовності подій від початкового до кінцевої події.

При побудові логічного дерева подій слід використовувати:

- умовну вірогідність реалізації різних гілок логічного дерева подій і переходу аварії в ту або іншу стадію розвитку;
- вірогідність спрацьовування відповідних засобів запобігання або локалізації аварії (приймається за наявною статистикою або за паспортними даними устаткування);
- вірогідність поразки розташованого в зоні аварії технологічного устаткування і побудов промислового підприємства в результаті дії на них небезпечних чинників пожежі. При

побудові подій вражаючих чинників, що виникають при різних сценаріях розвитку аварії, слід розглянути наступні небезпечні чинники пожежі:

- теплове випромінювання при факельному горінні, пожежах проток і вогняних кулях;
- надлишковий тиск і імпульс хвилі тиску при згоранні газопароповітряної суміші у відкритому просторі;
- надлишковий тиск і імпульс хвилі тиску при розриві посудини в результаті дії на нього вогнища пожежі;
- надлишковий тиск при згоранні газопароповітряної суміші у виробничому приміщенні;
- концентрацію токсичних компонентів продуктів горіння в приміщенні;
- зниження концентрації кисню в повітрі приміщення;
- задимлення атмосфери приміщення;
- середньооб'ємну температуру в приміщенні;
- осколки, що утворюються при вибуховому руйнуванні елементів технологічного устаткування;
- продукти згорання, що розширюються, при реалізації пожежі - спалаху.

Для оцінки пожежного ризику слід використовувати, як правило, імовірнісні критерії поразки людей і навколишніх будівель, споруд і устаткування небезпечними чинниками пожежі.

Детерміновані критерії використовуються при неможливості застосування імовірнісних критеріїв.

Детерміновані критерії показують значення параметрів небезпечного чинника, при яких спостерігається той або інший рівень ураження людей або руйнування навколишніх будівель, споруд і устаткування.

У разі використання детермінованих критеріїв умовна вірогідність поразки приймається рівною 1, якщо значення критерію перевищує граничнодопустимий рівень, і рівною 0, якщо значення критерію не перевищує гранично допустимий рівень ураження людей, або руйнування навколишніх будівель, споруд і устаткування.

Імовірнісні критерії показують, яка умовна вірогідність поразки людей або руйнування будівель, споруд і устаткування при заданому значенні небезпечного чинника пожежі.

Тільки вірно оцінивши ступінь пожежного ризику на тому чи іншому підприємстві, небезпечні чинники пожежі можна запобігти і зменшити ймовірність страждання та загибелі значної кількості людей.

Використання для оцінки пожежного ризику математичного моделювання динаміки розвитку пожежі в даний час є актуальним завданням. Існуючі математичні моделі можна розділити на такі основні види: інтегральні, зонні та польові.

Аналіз математичного опису пожежі показав, що базову основу моделей складають закони збереження маси та енергії, які в даному випадку представлятимуть основні рівняння та умови єдиності рішення завдання:

- Рівняння збереження маси

$$V \frac{d\rho_m}{d\tau} = \psi + G_B - G_r + G_{np} - G_{вьлт} + G_{об}, \quad (1)$$

- Рівняння збереження енергії

$$\begin{aligned} V \frac{d}{d\tau} \left( \frac{\rho_m}{k-1} \right) &= (\eta Q_H^p + i_r) \cdot \psi + \\ &+ c_{pB} T_B (G_B + G_{np}) - c_{pK} T_m (G_r + G_{вьлт}) + \\ &+ c_{pOB} T_{OB} G_{OB} - Q_w - Q_r + G_0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $V$  - вільний аналізований обсяг об'єкта, м<sup>3</sup>;

$m$  - середньооб'ємна щільність газового середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$\Psi$  - швидкість вигорання, що характеризує загазованість навколишнього середовища, кг/с;

$G_v$  - об'єм надходить у приміщення через отвори повітря, кг/с;  
 $G_r$  – обсяг тих, що витікають із приміщення через отвори газів, кг/с;  
 $G_{пр}$  - обсяг повітря, що подається припливною вентиляцією, кг/с;  
 $G_{вит}$  - обсяг газу, що видаляється системою витяжної вентиляції, кг/с;  
 $G_{ов}$  – обсяг вогнегасної речовини, що подається, кг/с.

Таким чином, повний математичний опис, представлений системою диференціальних рівнянь розвитку пожежі, доповнене залежностями газообміну приміщення з навколишнім середовищем, теплообміну з огорожувальними конструкціями, швидкостями газифікації та тепловідлення, незважаючи на потужності обчислювальної техніки, отримати на практиці дуже складно.

У пропонується спрощене рішення у першому наближенні аналізованої системи диференціальних рівнянь пожежі, яка отримало назву інтегральної математичної моделі початкової стадії пожежі. Крім того, аналітичне рішення запропонованої системи диференціальних рівнянь описує початкову стадію лише за вільному розвитку пожежі без урахування взаємодій інженерно-технічних та протипожежних систем. Таким чином, у запропонованій математичній моделі система диференціальних рівнянь може бути представлена рядом залежностей:

- підвищення температури

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) \cdot z} \right] \right\}^{1/n}, \quad (3)$$

- за втратою видимості

$$t_{кр}^{п.в.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{пр} \cdot B \cdot D_m \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4)$$

- за зниженням вмістом кисню

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{0,044}{\left( \frac{BL_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (5)$$

- по кожному газоподібному токсичному продукту горіння

$$t_{кр}^{т.г.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (6)$$

де  $A$  - параметр, що враховує питому масову швидкість вигорання пального матеріалу та площу пожежі;  $B$  - комплексний параметр, що залежить від теплоти згорання матеріалу та вільного об'єму приміщення, кг;  $n$  - показник ступеня, що враховує зміну маси матеріалу, що вигоряє в часі;

$X$  - значення гранично допустимого вмісту токсичного газу в приміщенні, кг м-3 ( $X_{CO_2} = 0,11$  кг/м<sup>3</sup>;  $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>;  $X_{HCl} = 23 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>).

Таким чином, перехід до простих математичних залежностей при вирішенні складної системи диференціальних рівнянь, що дозволяє визначити час блокування небезпечних факторів пожежі, були сформульовані які забезпечують необхідну точність та достовірність результатів припущення:

– після загорання до приміщення не надходить ззовні свіже повітря, а спостерігається лише виштовхування газів через отвори під впливом надлишкового тиску, створеного пожежею;



- для випадку горіння розливів горючих рідин приймається, що швидкість газифікації протягом усієї початкової стадії розвитку пожежі не змінюється, тобто. залишається постійною;
- відношення сумарного теплового потоку в огорожувальні конструкції до швидкості тепловиділення в осередку горіння протягом усього інтервалу часу, що відповідає критичній тривалості пожежі, залишається незмінним.

Основний недолік інтегральних математичних моделей пожежі полягає в описі зміни середньооб'ємних параметрів всього об'єкта загалом. Тому було запропоновано зонну модель, коли приміщення ділиться на зону конвективної колонки (I), верхню (II), нижню (III) зони та (рис. 1), потім створюється інтегральна математична модель пожежі по кожній зоні за кожною зоною. Тоді виконаний для кожної зони окремо розрахунок дає більш точний результат, ніж всього об'єкта (рис. 1). При цьому область Конвективна колонка характеризується тим, що основну роль у русі газу виконують архімедові сили, які виникають при відмінності температур холодних і гарячих газів.

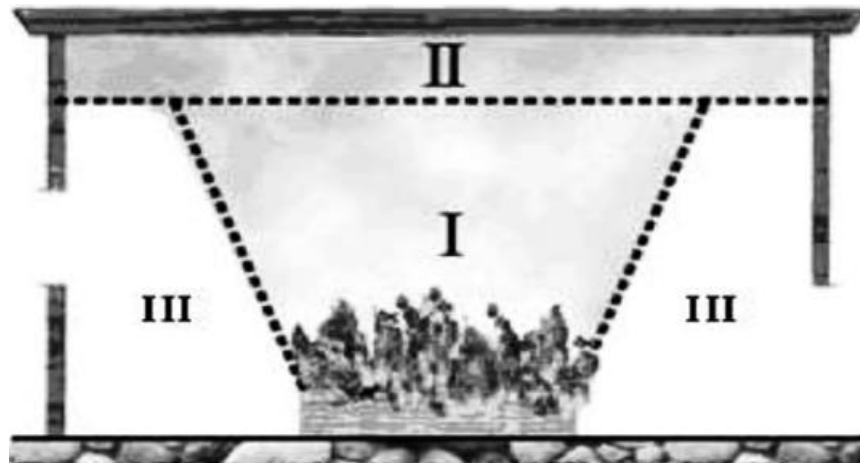


Рис. 1. Схема зонної моделі пожежі у приміщенні.

Так як зонні моделі є сукупністю інтегральних кожної зони, на які розділено простір об'єкта, то для них приймаються припущення, раніше сформульовані інтегральних математичних моделей пожежі, що забезпечує необхідну точність результатів у розрахунках:

- швидкість газифікації горіння рідини прийнято постійною величиною, значення якої приймається як для випадку горіння, що встановилося;

- не враховується вплив мас потоків від систем аварійної вентиляції та видалення диму на геометричну форму, та термодинамічні характеристики газового середовища конвективної зони колонки;

- відношення сумарного теплового потоку в огорожувальні конструкції до швидкості тепловиділення в осередку горіння прийнято постійною величиною протягом всього інтервалу часу, рівного критичної тривалості пожежі;

- не враховується вплив функціонування вентиляційних систем, зміни швидкості газифікації, зміни відносин теплового потоку в огорожі до швидкості тепловиділення в осередку горіння на інтервалах до та після спрацювання систем пожежної сигналізації.

Тоді для формування польової моделі можна використовувати рівняння механіки суцільних середовищ з урахуванням законів збереження маси, імпульсу, енергії та мас компонентів у аналізованому малому контрольному обсязі:

рівняння збереження маси:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j) = 0, \quad (7)$$

рівняння збереження імпульсу:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j \cdot u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho \cdot g_i, \quad (8)$$

рівняння енергії:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \cdot u_j \cdot h) =$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}, \quad (9)$$

де  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  - час, с;  $u$  - швидкість, м / с;  $p$  - динамічний тиск, Па;  $t_{ij}$  - тензор в'язких напруг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $h$  - питома масова ентальпія суміші, Дж/кг;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м°K);  $c_p$  - питома масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг°K);  $R_j^q$  - радіаційний потік енергії в напрямленні  $x_j$ .

Для вдосконалення існуючих математичних моделей пожежі необхідно одержання нових залежностей для вхідних параметрів при вирішенні задачі з урахуванням взаємодії інженерно-технічних та протипожежних систем.

#### Основні методи опису та врахування напружено-деформованого стану залізобетону

| Особливості процесів тепломасообміну під час пожежі        | Математична модель або метод  |
|--|---|
| Процес тепломасообміну                                     | Система диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса  |
| Модель турбулентності                                      | Модель великих вихорів (LES-модель)   |
| Модель хімічної реакції                                    | Одноступінчасте стехіометричне рівняння   |
| Модель горіння   | Модель Зельдовича   |
| Модель променистого теплообміну                            | Метод кінцевих об'ємів (FVM)  |
| Метод апроксимації диференціальних рівнянь                 | Метод кінцевих різниць за явною схемою «предиктор-коректор»                         |
| Програмне забезпечення для реалізації математичних моделей | Fire Dynamic Simulator (FDS) (розробка національного інституту стандартів NIST USA) |
| Засіб візуалізації   | Візуалізаційний модуль PyroSim  |

#### Теми доповідей для заслуховування та обговорення:

1. Моделі вербальні, формальні, алгоритмічні, графічні, фізичні.
2. Моделі геометричні, структурні, акціональні, інформаційні.
3. Моделі статичні, моделі динаміки.
4. Моделі процесів, перетворень і систем.
5. Моделі детерміновані, стохастичні, нечіткі, узагальнені.
6. Моделі агрегатні, комплексні.
7. Моделі аналітичні, імітаційні.

#### Питання для перевірки знань:

57. Визначення поняття «модель».
58. Стапи створення моделі.
59. Класифікація видів моделей за ознакою повноти.
60. Наочні моделі.
61. Символічні моделі.
62. Математичні моделі.
63. Імітаційні моделі.
64. Оптимізаційні моделі.
65. Детерміновані та стохастичні моделі.
66. Безперервні та дискретні математичні моделі.
67. Динамічні моделі та статичні моделі.
68. Структурно-функціональні моделі.
69. Інформаційні моделі.
70. Ситуаційні моделі.
71. Предметні моделі.
72. Фізичні моделі.
73. Аналогові моделі.
74. Цифрові моделі.
75. Натурні моделі.
76. Мета експерименту.

**Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповідь за темою:

1. Проблеми моделювання пожеж.
2. Польові моделі пожеж.
3. Особливості моделювання людських потоків.
4. Особливості моделювання крупних пожеж.

II. Пройти тестування: тест 8.2. за посиланням <https://forms.gle/dVth23bVcWxjKoQB8>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9 ІНТЕГРАЛЬНІ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ

### Література:

1. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
2. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
3. Motorygin Yu.D. Mathematical modeling of the processes of occurrence and development of fires: monograph / Under the general editorship of V.S. Artamonov. 2011. 184 p.
4. System analysis and problems of fire safety of the national economy / N.N. Brushlinsky, V.V. Kafidov, V.I. Kozlachkov and others / Ed. N.N.Brushlinsky. M: Stroyizdat, 1988. 413s.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з інтегральними моделями для розрахунку небезпечних факторів пожежі.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання небезпечних факторів пожежі.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Теоретична частина:

Сучасні засоби модельного аналізу дозволяють виконати оптимізацію об'ємно-планувальних, об'ємно-просторових, а також конструктивних рішень будівельних об'єктів, організувати ефективну систему евакуаційних шляхів та виходів, отримати адекватні локальним умовам рішення протипожежної безпеки. Також використання сучасних досягнень програмних продуктів у галузі аналізу причин загоряння, динаміки пожежі на об'єкті загоряння, пошуку та встановлення вогнища загоряння дозволяє отримати предметні модельно-аналітичні відомості, які мають високу застосовність не тільки для судових пожежних експертиз, але й для пошуку рішень, спрямованих на підвищення рівня протипожежної профілактики. Основу програмно-чисельних моделей становлять системи математичних рівнянь, що описують фізику досліджуваних процесів, унаслідок чого існує актуальне завдання у розвитку математичного апарату для врахування всіх можливих фізичних проявів небезпечних чинників пожежі з метою розвитку та оптимізації сфери програмних продуктів для моделювання пожеж та пожежонебезпечних ситуацій.

В даний час у сфері протипожежної профілактики існує досвід застосування чисельно-модельних програмних комплексів, які здійснюють модельну оцінку динаміки розвитку небезпечних факторів пожежі (НЧП), в основі яких покладено фундаментальну математичну теорію.

Наявні моделі не носять універсальний характер і вимагають подальшого дослідження та розвитку, зважаючи на спрощення низки фізичних проявів, таких як динаміка швидкості газифікації, динаміка відношення теплового потоку в осередку горіння. Існує практична необхідність формування системного підходу у виборі та призначенні оптимального програмного комплексу, що дозволяє отримати наближені до реальності дані щодо динаміки НЧП на об'єкті займання з урахуванням розробленої математичної теорії прогнозування параметрів пожеж і загорянь.

Небезпечними чинниками пожежі є:

- полум'я та іскри;
- підвищена температура оточуючого середовища;
- токсичні продукти згоряння і термічного розкладання;
- дим;
- знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних чинників пожежі відносяться:

- уламки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій будівель і споруд;
- радіоактивні та токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів та установок;
- електричний струм, що виник в результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів;
- небезпечні чинники вибуху (ударна хвиля, полум'я, уламки конструкцій, обладнання, комунікацій будівель і споруд, шкідливі речовини, що вивільнились в наслідок вибуху), який виник в наслідок пожежі;
- негативні наслідки, обумовлені застосуванням вогнегасних речовин.

Динаміка НЧП описана математичною теорією, до якої зробив великий внесок к.т.н. проф. Ю.А. Кошмаров, що передбачає використання трьох виділених детермінантних математичних моделей:

– інтегральна модель пожежі дозволяє отримати інформацію, тобто зробити прогноз про середні значення параметрів стану середовища в приміщенні для будь-якого моменту розвитку пожежі. При цьому для того щоб зіставляти (співвідносити) середні (тобто середньооб'ємні) параметри середовища з їх граничними значеннями в робочій зоні, використовуються формули, отримані на основі експериментальних досліджень просторового розподілу температур, концентрацій продуктів горіння, оптичної щільності диму і т.д.;

– зонна модель прогнозування динаміки НЧП: виділення характерних зон розвитку НЧП та оцінка їх чисельного значення на базі сукупності систем рівнянь, що диференціюються за часом пожежі з функціями локалізації координат характерних зон процесу займання. Модель застосовується для приміщень великого обсягу, в якому вогнище займання має розміри значно менші за розміри об'єкту займання. Для моделювання динаміки НЧП у різних характерних зонах об'єкту займання;

– польова модель прогнозування динаміки НЧП: отримання чисельних значень НЧП для будь-якої локальної точки (в об'ємі об'єкту займання) з доступністю будь-якої точки хронометражу пожежі з високим рівнем деталізації одержуваних значень, на базі деталізованої стосовно фізичної картини процесу загоряння складної системи рівнянь та похідних, що описують просторово-часову динаміку теплофізичних процесів, що супроводжують прояв НЧП, використовуючи базові фізичні закономірності (закон Стокса, закон Фур'є, закон дифузії, закон радіаційного перенесення, ін.). Модель застосовна для об'єктів та систем об'єктів складної конфігурації, різного геометричного співвідношення габаритних розмірів. Для випадків, у яких відсутня можливість застосування інтегральної моделі та зонної моделі.

Використання описаних моделей стосовно прогнозування динаміки НЧП на реальних об'єктах займання (або близьким до реальних об'єктів) є вкрай трудомістким процесом, внаслідок чого отримано низку програмно-чисельних адаптацій вищезгаданих моделей, на базі яких нині розвивається сфера відповідних галузевих програмних комплексів. Огляд адаптивних моделей представлений у таблиці 1.

Представлені адаптивні інтегральні моделі є основою для розробки сучасних програмних продуктів для прогнозу динаміки НЧП.

Таблиця 1. Огляд адаптивних інтегральних моделей для прогнозу динаміки НЧП.

| Найменування адаптивної моделі, авторство | Математична модель, що застосовується | Особливості програмно-математичного апарату  |
|---|---------------------------------------|--|
| BISTRA, Physibel (Бельгія)                | Інтегральна модель                    | Формування ізополів температурного градієнта для об'єкта довільної конфігурації у двовимірному просторі з урахуванням нелінійного методу розрахунку променистого теплообміну. Температурний градієнт визначається на підставі методу кінцевих різниць Кранка-Ніколсона |
| BRANZ TR8/TR9, BRANZ (Нова Зеландія)      | Інтегральна модель                    | Прогноз впливу НЧП на залізобетонні конструкції  |

|                                      |                    |  |
|--------------------------------------|--------------------|--|
| SAFIR, Université de Liège (Бельгія) | Інтегральна модель | Прогноз впливу температурних полів, спричинених займаннями на будівельні системи та конструкції об'єкту займання з формуванням ізополей температурного градієнта, що визначається на підставі методу кінцевих різниць  |
| VOLTRA, Physibel (Бельгія)           | Інтегральна модель | Формування ізополей градієнта теплового потоку всередині тривимірного тіла різної конфігурації з урахуванням температурного градієнта та теплопровідності матеріалу модельованого тіла. Температурний градієнт визначається на основі методу кінцевих різниць Кранка-Ніколсона |

#### Теми доповідей для заслуховування:

1. Інструментальні методи визначення осередків пожеж.
2. Метод визначення змісту летучих речовин. Метод елементарного аналізу.
3. Метод визначення змісту летучих речовин. Метод інфрачервоної спектроскопії.
4. Метод визначення змісту летучих речовин. Термічний чи термогравітаційний аналіз.
5. Метод визначення змісту летучих речовин. Метод флуорисцентної спектроскопії.

#### Питання для перевірки знань:

1. Визначення поняття «система управління пожежною безпекою об'єкта захисту».
2. Способи досягнення протипожежного захисту.
3. Сутність принципів системності та колективізму функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта.
4. Сутність принципу запобігання.
5. Сутність принципів інформованості та адекватності функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта.
6. Сутність принципу відповідальності.
7. Мета системи управління пожежною безпекою об'єкта.
8. Функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта.
9. Основні задачі системи управління пожежною безпекою об'єкта.
10. Структурні елементи системи управління пожежною безпекою об'єкта.
11. Небезпечними чинниками пожежі (НЧП).
12. Поняття інтегральна модель пожежі.
13. Поняття зонна модель прогнозування динаміки НЧП.
14. Поняття польова модель прогнозування динаміки НЧП.

#### Завдання для самостійної підготовки:

1. Підготувати доповіді за темами:
  1. Методи дослідження сталевих конструкцій і предметів.
  2. Методи дослідження обгорілих залишків лакофарбових покриттів (метод визначення зольності, метод ІЧ-спектроскопії).
  3. Методи дослідження матеріалів на основі гіпсу, вапна і цементу.
  4. Методи виявлення і дослідження слідів легкозаймистих і горючих рідин у речових доказах.
  5. Методи визначення пожежонебезпечних характеристик рідин, твердих речовин.
  6. Математична інтегральна модель газообміну в будівлі під час пожежі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
  7. Математична двозонна модель пожежі в будівлі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
  8. Польовий метод моделювання пожежі в будівлі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
- II. Пройти тестування: тест 9.2. за посиланням <https://forms.gle/dVth23bVcWxjKoQB8>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10 ЗОННІ ТА ПОЛЬОВІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ

**Місце проведення:** за розкладом.

**Час:** 2 акад. години.

**Матеріальне забезпечення:** 1. Мультимедійний проектор, екран.

2. Література:

1. ДСТУ 8828:2019 «Пожезна безпека. Загальні положення».
2. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
3. Motorygin Yu.D. Mathematical modeling of the processes of occurrence and development of fires: monograph / Under the general editorship of V.S. Artamonov. 2011. 184 p.
4. System analysis and problems of fire safety of the national economy / N.N. Brushlinsky, V.V. Kafidov, V.I. Kozlachkov and others / Ed. N.N.Brushlinsky. M: Stroyizdat, 1988. 413s.
5. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
6. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
7. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з зонними та польовими моделями для розрахунку небезпечних факторів пожежі.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання небезпечних факторів пожежі.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Теоретична частина:

Небезпечними чинниками пожежі є:

- полум'я та іскри;
- підвищена температура оточуючого середовища;
- токсичні продукти згоряння і термічного розкладання;
- дим;
- знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних чинників пожежі відносяться:

- уламки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій будівель і споруд;
- радіоактивні та токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів та установок;
- електричний струм, що виник в результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів;
- небезпечні чинники вибуху (ударна хвиля, полум'я, уламки конструкцій, обладнання, комунікацій будівель і споруд, шкідливі речовини, що вивільнились в наслідок вибуху), який виник в наслідок пожежі;
- негативні наслідки, обумовлені застосуванням вогнегасних речовин.

Для опису термогазодинамічних параметрів пожежі застосовуються три основні групи детерміністичних моделей: інтегральні, зонні (зональні) та польові.

Вибір конкретної моделі розрахунку часу блокування шляхів евакуації слід здійснювати виходячи з таких передумов:

а) інтегральний метод застосовують:

- для будівель, що мають розвинену систему приміщень малого об'єму простої геометричної конфігурації;

– для приміщень, де характерний розмір осередку пожежі можливо порівняти з характерними розмірами приміщення та розміри приміщення близькі між собою (лінійні розміри приміщення відрізняються не більше ніж у 5 разів);

– для попередніх розрахунків з метою виявлення найбільш небезпечного сценарію пожежі.

Зонний та польовий методи використовуються у разі неможливості використання інтегрального методу, зокрема:

б) зонний (зональний) метод застосовують:

– для приміщень і систем приміщень простої геометричної конфігурації, лінійні розміри яких близькі між собою (лінійні розміри приміщення відрізняються не більше ніж у 5 разів), коли розмір осередку пожежі істотно менше розмірів приміщення;

– для робочих зон, розташованих на різних рівнях у межах одного приміщення (наприклад, похила глядацька зала кінотеатру, антресолі);

в) польовий метод застосовують:

– для приміщень складної геометричної конфігурації, а також приміщень із великою кількістю внутрішніх перешкод (атріуми з системою галерей і коридорів, що примикають, багатофункціональні центри зі складною системою вертикальних і горизонтальних зв'язків тощо);

– для приміщень, у яких один із геометричних розмірів значно більший (менший) за інші (тунелі, закриті автостоянки великої площі тощо);

– для інших випадків, коли застосування чи інформативність зонних та інтегральних моделей викликає сумнів (унікальні споруди, будівлі, де необхідно врахувати поширення пожежі по її фасаду та/або, роботу систем протипожежного захисту).

Під час використання інтегральної та зонної моделей для приміщення, один із лінійних розмірів якого більше ніж у п'ять разів перевищує хоча б один із двох інших лінійних розмірів, необхідно це приміщення поділяти на ділянки, розміри яких порівнювані між собою, та розглядати ділянки як окремі приміщення, що сполучуються прорізами, площа яких дорівнює площі перетину на границі ділянок. Використання аналогічної процедури у разі, коли два лінійних розміри перевищують третій більше ніж у 5 разів, не допустимо.

Огляд адаптивних зонних та польових моделей представлений у таблиці 1.

Таблиця 1. Огляд адаптивних зонних та польових моделей для прогнозу динаміки НЧП.

| Найменування адаптивної моделі, авторство | Математична модель, що застосовується | Особливості програмно-математичного апарату  |
|---|---------------------------------------|--|
| BRANZFIRE, BRANZ (Нова Зеландія)          | Зонна модель                          | Двоступенчата модель (для розрахунку параметрів пожежі у верхній та нижній зонах), яка використовується для прогнозу динаміки НЧП безпосередньо в приміщенні вогнища займання та суміжних кімнатах (обмеження – до 10 кімнат). Використовується математичний апарат на основі системи диференціальних рівнянь похідних від законів збереження маси та енергії, в результаті програмного обчислення якого набувають чисельні значення НЧП |
| CFAST/FAST, NIST (США)                    | Зонна модель                          | Двоступенчата модель (для розрахунку параметрів пожежі у верхній та нижній зонах), що використовується для оцінки динаміки димоутворення внаслідок прояву НЧП. Використовується математичний апарат на основі системи диференціальних рівнянь похідних від законів збереження маси та енергії, в результаті програмного обчислення якого набувають чисельні значення НЧП   |
| FDS, NIST (США)/ VTT (Фінляндія)          | Польова модель                        | Використовується для прогнозу динаміки НЧП на підставі математичного апарату, що описує гідродинамічну модель руху повітряних потоків на об'єкті займання:   |



|                                      |                |   |
|--------------------------------------|----------------|---|
|                                      |                | <ul style="list-style-type: none"> <li>– динаміка низькошвидкісних повітряних потоків у середовищі займання на підставі рішень рівнянь Нав'є-Стокса;</li> <li>– облік турбулізації повітряних потоків виконується відповідно до математичною системною моделлю Смагоринського;</li> <li>– облік безпосередньо горіння проводиться на підставі хімічних реакцій окиснення;</li> <li>– облік променистого теплоперенесення виконується на підставі методу кінцевих об'ємів</li> </ul> |
| Kameleon FireEX, ComputIT (Норвегія) | Польова модель | Використовується для прогнозу динаміки НЧП на підставі математичного апарату у складі гідродинамічних рівнянь, методу кінцевих обсягів, механічної реакції будівельних конструкцій Fahts/Usfos з отриманням характерних чисельних значень: дисперсією продуктів горіння, температурних градієнтів та напрямків розвитку займання  |
| SMARTFIRE, FSEG (Великобританія)     | Польова модель | Використовується для прогнозу динаміки НЧП на підставі математичного апарату у складі гідродинамічних рівнянь з формуванням програмних процесів паралельних обчислень та можливістю інтеграції (імпорту/експорту) вихідних даних та результатів моделювання в аналогічні програми та програми САД-профілю   |

Програмні адаптації польових моделей є перспективнішими, зважаючи на облік більшого кількості реальних фізичних процесів при моделюванні процесів займання та пожежі, що дозволять одержувати адекватні натурним умовам динамічні показники НЧП.

Програмні комплекси найчастіше використовують програмну адаптацію польової моделі FDS (наприклад, ПК FireCat, Thunderhead Engineering (США), ПК Fenix+3, Сучасні програмні технології, ПК Піротек, СІТІС).

З огляду на те, що програмні комплекси для прогнозування динаміки ОФП повинні задовольняти вимоги нормативних методик розрахунку, алгоритм обчислення динаміки НЧП мають подібні механізми, причому порівняння даних програмних середовищ слід проводити за специфічними можливостями та функціональному наповненню: інтеграція з САД-ПК, інтерфейсні можливості, зручність сприйняття результуючої інформації.

#### **Теми доповідей для заслуховування та обговорення:**

1. Методи дослідження сталевих конструкцій і предметів.
2. Методи дослідження обгорілих залишків лакофарбових покриттів (метод визначення зольності, метод ІЧ-спектроскопії).
3. Методи дослідження матеріалів на основі гіпсу, вапна і цементу.
4. Методи виявлення і дослідження слідів легкозаймистих і горючих рідин у речових доказах.
5. Методи визначення пожежонебезпечних характеристик рідин, твердих речовин.

#### **Питання для перевірки знань:**

1. Небезпечними чинниками пожежі (НЧП).
2. Поняття інтегральна модель пожежі
3. Поняття зонна модель прогнозування динаміки НЧП.
4. Поняття польова модель прогнозування динаміки НЧП.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

- I. Вивчити матеріал лекції та практичного заняття.
- II. Пройти тестування: тест 10.2. за посиланням <https://forms.gle/r91DSpoXuYE1wamu6>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11\_12 ПРОГРАМНО-МОДЕЛЮЮЧИЙ КОМПЛЕКС PATHFINDER – МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЯТУВАННЯ ЛЮДЕЙ

### Література:

1. Морозова Д.М., Отрош Ю.А., Рибка Є.О., Тригуб В.В. Розбір функціональних характеристик програми PATHFINDER. Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2022. С. 80.
2. Керівництво користувача Pathfinder 2021.4. FireCat. URL: [https://www.pyrosim.ru/download/Pathfinder\\_rus\\_manual.pdf](https://www.pyrosim.ru/download/Pathfinder_rus_manual.pdf)

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з програмно-моделюючим комплексом Pathfinder – моделювання процесу рятування людей.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з використання програмно-моделюючого комплексу Pathfinder для вирішення задач з забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Теоретична частина:

Pathfinder - програма для моделювання евакуації в надзвичайних ситуаціях з урахуванням можливості порятунку людей, включає в себе користувальницький графічний інтерфейс для створення моделі та модуль для перегляду анімованих тривимірних результатів.

Pathfinder дозволяє виконати розрахунок евакуації людей при пожежі швидше та реалістичніше, ніж інші розрахункові програми.

Pathfinder дозволяє виконати розрахунок часу евакуації та часу існування скупчень за індивідуально-поточною моделлю руху.

Pathfinder дозволяє моделювати порятунок людей силами персоналу на ношах, інвалідних кріслах та інших суднах. У вихідних даних задаються "клієнти" (агенти, яким потрібна допомога для руху) та "помічники" (агенти, які переміщують немобільних агентів).

Програма дозволяє реалізувати різні варіанти поведінки під час порятунку: помічники можуть супроводжувати клієнта весь шлях до виходу або зони безпеки, а можуть передавати його від однієї команди рятувальників до іншої (наприклад, одна команда везе немобільну людину до ліфта, інша зустрічає внизу у ліфта), або надавати допомогу тільки на частині шляху (наприклад, допомогти агенту в кріслі-колясці при спуску сходами).

Об'єднання помічників у «команди допомоги» дозволяє враховувати обмеження кількості рейсів, відповідно до вимог методики.

У Pathfinder можна одночасно переглядати результати евакуації та результати моделювання поширення небезпечних факторів пожежі. За допомогою подібних зображень можна наочно проілюструвати чи встигають люди евакуюватися до блокування шляхів евакуації. Для цього необхідно завантажити результати розрахунку в Pyrosim за площинами – температура, щільність диму, дальність видимості тощо. Площини можна індивідуально налаштовувати, задаючи діапазон значень та параметри колірної шкали.

Для наочного і зручного відображення результатів моделювання можна використовувати контури - поля різних параметрів руху, наприклад, щільність агентів. Гладка анімація забезпечує перегляд результатів у реальному часі. Контури дозволяють відображати щільність, швидкість, завантаженість шляхів та інші величини, також можливо створювати контури користувача, використовувати усереднення, пошук максимальних і мінімальних значень. Кожен контур можна індивідуально налаштовувати – діапазон значень, колірна шкала, згладжування та ін.

Pathfinder дозволяє імпортувати з AutoCAD файли у форматах DXF та DWG. Спеціальний інструмент для вилучення приміщень дозволяє швидко та просто використовувати імпортовану геометрію для створення простору для переміщення агентів у моделі евакуації. Крім того, можна використовувати імпорт даних із Fire Dynamics Simulator (FDS) та PyroSim.

Крім того, Pathfinder дозволяє завантажувати зображення у форматі GIF, JPG або PNG як підкладки, допомагаючи швидко створювати об'єкти на їх основі.

Для представлення геометрії моделі Pathfinder використовує тривимірну сітку. В результаті можна точно відображати будь-які геометричні деталі та криві.

Трикутна сітка також полегшує безперервний рух людей по всій моделі порівняно з іншими розрахунковими програмами, які поділяють простір на комірки, які штучно обмежують переміщення.

Рух агентів до виходів. За замовчуванням кожна людина (агент) використовує комбінацію параметрів вибору шляху до виходу. Серед цих параметрів: час очікування перед кожними дверима в поточному приміщенні, час оцінки від кожної двері до виходу, і відстань, вже пройдена в приміщенні. Агенти динамічно реагують на зміну довжини черг, відкриття/закриття дверей та зміну модифікаторів швидкості в приміщенні (які можуть моделювати дим та сміття, що ускладнює рух). Користувач може налаштовувати вагу параметрів, регулюючи поведінку. Наприклад, агенту можна вказати ігнорувати довжину черг і легко рухатися до найближчого виходу.

Крім того, агентам можна ставити певні цілі (наприклад, йти у вказане місце та чекати там вказаний час), або певні виходи. Наприклад, більшість агентів на нижніх поверхах можуть використовувати сходи, тоді як більшість агентів на верхніх поверхах воліють зачекати на ліфт.

У Pathfinder включені моделі людей для різних національностей, віку, одягу, а також моделі працівників рятувальних служб. Таким чином, можна створити реалістичний образ людей у будівлі. Завдяки використанню динамічного рівня деталізації при відображенні моделей Pathfinder здатний анімувати рух тисяч людей у реальному часі на стандартній відеокарті.

Крім того, в Pathfinder є прості інструменти для створення відеороликів за результатами моделювання.

Pathfinder забезпечує можливість використовувати ліфти під час моделювання евакуації. Для кожного ліфта задається список поверхів посадки людей та поверх висадки. Люди можуть прямувати до найближчого ліфта або поверху посадки і чекати евакуації на ліфті. Працівники рятувальних служб можуть керувати ліфтами, щоби потрапити на потрібні поверхи.

Виклик ліфта здійснюється під час створення черги біля його дверей. Ліфти можна об'єднувати в групи, що викликаються разом.

Сходів та рампи можна створити в кілька клацань миші. Їх можна використовувати для моделювання ескалаторів і доріжок, що рухаються (похилих або горизонтальних).

Кожна людина в моделі представлена агентом з власним профілем (в якому встановлюється розмір людини та швидкість його руху) та власною поведінкою (рух до виходів, дорожніх точок та ліфтів). На основі своїх характеристик кожен агент оцінює навколишній простір та вибирає шлях до виходу. Наприклад, люди можуть уникати довгих черг або реагувати на закриття дверей.

Можна створити різноманітні профілі людей. Параметри в профілі можуть бути постійними, а також з рівномірним, нормальним або логонормальним розподілом. Наприклад, можна створити профілі, що моделюють дітей та дорослих, а потім розподілити їх серед агентів у співвідношенні 20 та 80%. Аналогічно можна створити та розподілити безліч різноманітних поведінок. Люди можуть прямувати до різних виходів, відвідувати дорожні точки та чекати на заданий час.

Гнучкість розрахунків Pathfinder дозволяє моделювати складні ситуації. Наприклад, використовуючи двері із заданою пропускну здатністю, дорожні точки та час очікування, можна моделювати черги та процес проходження через турнікети.

Працівників рятувальних служб можна спрямовувати сходами проти перебігу евакуації. Можна змоделювати, як вони рухаються до певного місця, і чекають на заданий час, перш ніж рухатися далі.

Для моделювання змін параметрів навколишнього середовища під час евакуації можна використовувати двері та модифікатори швидкості для приміщень.

Відображення тривимірних результатів можливе під час моделювання (для перегляду поточного стану), так і після завершення розрахунку. Тривимірна візуалізація дозволяє користувачеві спостерігати за рухом людей, промотувати запис уперед і назад, переглядати шляхи руху та вибирати агентів для спостереження. У файлі резюме виводиться інформація про

мінімальний, максимальний та середній час руху до виходу, а також про перший і останній минулий через двері та приміщення. Більш детальна інформація наведена у файлах CSV, у тому числі про рух окремих людей.

Програма FireRisk дозволяє імпортувати дані з Pathfinder і отримати всю потрібну інформацію для розрахунку ризику: час евакуації, час початку евакуації, час скупчень.

Програма включає в себе графічний інтерфейс для створення сценарію виникнення пожежі та інструменти для візуалізації результатів в 2D і 3D, що дає змогу розглянути траєкторію руху людей під час евакуації.

Таким чином, основні переваги програми Pathfinder покладені в швидкому та реалістичному розрахунку евакуації людей при пожежі в порівнянні з іншими розрахунковими програмами. До можливостей програми відносяться:

- розрахунок часу евакуації. (Програма розраховує час скупчення людей біля проходів та виконує розрахунок часу евакуації по індивідуальним моделям руху);

- візуалізація полів небезпечних факторів пожежі разом із евакуацією людей. (Це дає змогу одночасно розглядати результати моделювання розповсюдження небезпечних факторів пожежі та моделювання евакуації людей);

- щільність людського потоку. (Моделювання при використанні «контури», може відображати швидкість, завантаженість шляхів, можливість створення контуру користувача, пошук максимальних ті мінімальних значень. Контури індивідуально налаштовуються за діапазоном значень, колірною шкалою та інше);

- можливість імпорту. ( В програмі Pathfinder можливо імпортувати AutoCAD файли у форматах DXF та DWG та використовувати імпорт даних із Fire Dynamics Simulator (FDS) та PyroSim. Також можна завантажувати зображення в форматі GIF, JPG або PNG та створювати на їх основі об'єкти);

- моделювання руху за допомогою сітки. (Використання трьох вимірної сітки на якій можна відобразити криві та геометричні деталі, це дозволяє проектувати безперервний рух по всій моделі);

- рух агентів до виходів. (Кожний агент (людина) використовує комбінацію параметрів вибору шляху до виходу) – тривимірна високоякісна візуалізація. (Можливість моделювання людей різних національностей, віку, одягу та працівників рятувальних служб. Крім того, можливість створення відеороликів з результатами моделювання руху);

- ліфти. (Моделювання ліфтів, завдання йому кількість поверхів посадки та висадки людей для кожного ліфта);

- сходи, ескалатори, доріжки, що рухаються, і рампи. (До них можна застосувати кількість ступенів, перепадів висоти та інше);

- індивідуальне налаштування людей. (В програмі люди представлені агентами характеристики яких можна налаштувати для кожного індивідуально);

- перешкоди. (Сюди відносяться турнікети, столи, перегородки та інше. Програмо моделює час очікування, скупчення та процес проходження через перешкоду);

- результати. (Результати евакуації можна переглянути в тривимірній візуалізації, що дозволяє розглянути рух людей, переглядати запис, розглянути мінімальний, середній та максимальний час руху до виходу. Більш детальну інформацію з наведенням руху кожного агента можна розглянути в файлі CSV).

#### **Теми для обговорення:**

1. Візуалізація полів НФП разом із евакуацією людей.
2. Контури щільності людського потоку.
3. Сітка для моделювання руху.
4. Широкі можливості імпорту Pathfinder.
5. Гнучкість розрахунків Pathfinder.
6. Високоякісна тривимірна візуалізація Pathfinder.
7. Програма FireRisk.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

- I. Підготувати доповідь за темами:

1. Імпорт CAD-моделей.
  2. Система HVAC.
  3. Бібліотеки властивостей PyroSim.
  4. Інтерактивне редагування об'єктів.
  5. Візуалізація результатів розрахунку.
  6. Розрахунок протипожежних відстаней за допомогою PyroSim.
- II. Пройти тестування: тести 11.2. за посиланням <https://forms.gle/55yi62PjWLTnhoG17>,  
12.2. за посиланням <https://forms.gle/xLdiPdnrZYyEepgPA>

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13 ПРОГРАМНО-МОДЕЛЮЮЧИЙ КОМПЛЕКС PYROSIM – МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЯТУВАННЯ ЛЮДЕЙ

### Література:

3. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model / K. McGrattan [et al.] // NIST Special Publication 1018-5. 2009. -94p.
4. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide / K. McGrattan [et al.] // NIST Special Publication 1019-5. 2009. -176.
5. Forney, G.P. Smokeview (Version 5): A Tool for Vizualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume 1: User's Guide / G.P. Forney // NIST Special Publication 1017-1, 2008. – 142 p.
6. PyroSim - полевая модель пожара. URL: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim>

### Мета заняття:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з програмно-моделюючим комплексом PyroSim – моделювання процесу рятування людей.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з використання програмно-моделюючого комплексу PyroSim для вирішення задач з забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

### Теоретична частина:

Розрахунок часу евакуації людей при пожежі з приміщень будь-якого об'єкту необхідно проводити до сучасних реалей та на основі міжнародного досвіду.

Статистика показує, що максимальна кількість жертв припадає на пожежі в приміщеннях, будівлях та спорудах з масовим перебуванням людей. Число жертв на деяких пожежах в кінотеатрах, універмагах, торговельних центрах і інших громадських будівлях досягає кілька сотень чоловік.

Світові практики розрахунку часу евакуації людей вже давно використовують новітні програмно-моделюючі комплекси, наприклад: Fire Dynamics Simulator (FDS), Fenix+, Pathfinder, GreenLine, PyroSim – в даних програмних засобах здійснюється моделювання розвитку пожеж, різноманітних сценаріїв поведінки вогню і диму, а також враховується ефект паніки.

Останнім часом більшає кількість випадків непрофесійного розрахунку часу евакуації некомпетентними організаціями, у зв'язку з чим і збільшуються шанси на отримання травм чи загрози життю відвідувачів таких закладів.

Трагедії в Кемерово та Одесі – лише тому доказ нефаховості і непрофесіоналізму компаній, які займаються таким розрахунком: неприпустимо зменшують необхідний час евакуації задля уникнення витрат на допоміжні протипожежні заходи і засоби, додаткові евакуаційні виходи, ліфти і пандуси для людей з обмеженими можливостями, ширину дверей і інше. Вина в цьому не оминає і власника таких торгових центрів, директорів підприємств, шкіл, дитсадків, які можливо взагалі не здійснювали розрахунок евакуації чи, взагалі, за дешево замовили звіт у фірми-одноденки.

Програмний продукт «Eva-APP» – програмний комплекс розрахунку часу евакуації людей розроблений командою ентузіастів сфери протипожежної безпеки, вихідців профільних наукових установ ([https://aimeice.org/news/programa\\_dlya\\_rozrahunku\\_chasu\\_evakuacii\\_ludei](https://aimeice.org/news/programa_dlya_rozrahunku_chasu_evakuacii_ludei)). Дане ПЗ здійснює розрахунок в графічному редакторі з математичним апаратом наповнених формул в напівавтоматичному режимі. Є можливість експорту креслень та планів приміщень з AutoCAD, що у свою чергу полегшує наступні етапи розрахунків та усуває, так званий, «людський фактор працівника».

Для моделювання та візуалізації пожежі з приміщень, використовується програма Fire Dynamics Simulator (FDS). Польова модель FDS може передбачати поширення диму, температури та інших небезпечних факторів під час пожежі. Результати моделювання використовуються для забезпечення безпеки будинків при проектуванні, визначення безпеки існуючих будинків, реконструкції пожеж при розслідуваннях, і допомоги в тренуваннях пожежних.

FDS – потужний інструмент для моделювання пожежі, розроблений Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology - NIST). FDS моделює сценарії пожежі з використанням обчислювальної гідродинаміки (CFD), оптимізованої для низькошвидкісних температурно-залежних потоків. Такий підхід виявляється дуже гнучким, і може бути застосований до різних пожеж, починаючи від горіння в печах і до пожеж на нафтових танкерах. Також за допомогою FDS може бути виконане моделювання, що не включає горіння, наприклад, робота вентиляції в будинках.

Описана комп'ютерна програма FDS реалізує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасопереносу при горінні. FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму й теплопередачі при пожежі. Smokeview – це спеціальна програма візуалізації, яка застосовується для відображення результатів моделювання FDS. FDS На сьогоднішній день приблизно половина модулів моделі служить для проектування систем керування димом і вивчення активації спринклерів і детекторів. Інша половина служить для відновлення картини пожежі в житлових і промислових приміщеннях. Основною метою FDS протягом розвитку цієї системи був розв'язок прикладних завдань пожежної безпеки і у той же час забезпечення засобами для вивчення фундаментальних процесів при пожежі.

FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурозалежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму й теплопередачі при пожежі. Основним алгоритмом є певна схема методу предиктора- коректора другого порядку точності по координатах і часу. Турбулентність виконується за допомогою моделі Смагоринського "Масштабне моделювання вихрів" (LES). Пряме чисельне моделювання (DNS) можна виконувати, якщо закладена в основі розрахункова сітка досить точна. Масштабне моделювання вихрів - режим роботи за умовчанням.

У більшості випадків в FDS застосовується одноступінчаста хімічна реакція, результати якого передаються через двохпараметричну модель частки в суміші (mixture fraction model). "Частки в суміші" у даному змісті – це скалярна величина, яка надає масову частку одного або більш компонентів газу в даній крапці потоку. За умови розраховуються два компоненти суміші: масова частка незгорілого палива й масова частка згорілого палива (тобто продуктів згоряння). Двоступінчаста хімічна реакція із трьохпараметрическим розкладанням частки в суміші розкладається на одноступінчасті реакції – окиснення палива до монооксида вуглецю й окиснення монооксида до діоксида. Три компоненти в цьому випадку – незгоріле паливо, маса палива, яка завершила перший крок реакції й маса палива, яка завершила другий крок реакції. Масова концентрація всіх основних реагентів і продуктів може бути отримана за допомогою "співвідношення стану". Також можна використовувати багатокрокову реакцію з кінцевою швидкістю протікання.

Променистий теплообмін включений у модель за допомогою розв'язку рівняння переносу випромінювання для сірого газу й, для деяких обмежених випадків, з використанням широкодіапазонної моделі. Рівняння вирішується за допомогою методу, аналогічного методу контрольних об'ємів для конвективного переносу (FVM). При використанні приблизно 100 дискретних кутів обчислення променистого теплообміну займає приблизно 20% загального часу завантаження центрального процесора, невелика витрата задана рівнем складності променистого теплообміну. Коефіцієнти поглинання сажею й димом обчислені за допомогою вузькополосної моделі RADCAL. Краплі рідини можуть поглинати й розсіювати теплове випромінювання. Коефіцієнти поглинання й розсіювання засновані на теорії Мі.

Геометрія FDS вирішує основні рівняння на прямокутній сітці. Перешкоди зобов'язано бути прямокутними, щоб задовольняти сітці.

На всіх твердих поверхнях задаються теплові граничні умови, плюс дані про горючість матеріалу. Тепло- і масоперенос із поверхні й назад розраховується за допомогою емпіричних співвідношень.

Для проведення розрахунків, розробляється графічна 3D модель будівлі. Вибір розрахункового сценарію пожежі зробиється експертним шляхом, на основі аналізу пожежної небезпеки будівлі, об'ємно-планувальних рішень, параметрів евакуаційних шляхів та виходів, а також кількості місць розміщення людей в приміщеннях.

**PyroSim** імпортує файли IFC, DXF, DWG, FBX, STL та FDS. Файли IFC зазвичай підтримуються програмними пакетами BIM, а файли FBX підтримують докладнішу інформацію про зовнішній вигляд та текстуру. Імпорт будь-якого з цих файлів значно скоротить час, що витрачається на відтворення архітектурної геометрії.

В якості альтернативи можна імпортувати малюнок у форматі GIF, JPG або PNG, а потім використовувати його як тло, що допоможе вам швидко намалювати модель прямо поверх зображення за допомогою знайомих інструментів 3D CAD.

PyroSim дозволяє в інтерактивному режимі переглядати та змінювати властивості, пов'язані з усіма об'єктами моделі. Цей візуальний зворотний зв'язок прискорює створення моделі та знижує кількість помилок.

Аналіз візуальних результатів. Перегляд диму, температури, швидкості, токсичності та інших результатів аналізу FDS. Створюйте відео в режимі реального часу, записуючи під час налаштування камери та візуалізації даних, або налаштуйте готовий візуальний тур за моделлю. Легко перемикайтеся між Smokeview, що надається NIST, або використовуйте засіб перегляду результатів з інтерфейсом, аналогічним до PyroSim, який також може інтегрувати результати руху пасажирів Pathfinder.

PyroSim включає інструменти, що допомагають створювати і перевіряти кілька сіток. Декілька сіток дозволяють вам: використовувати паралельну обробку для прискорення рішення, узгодити ваші сітки з геометрією, щоб зменшити кількість осередків і час вирішення, і змінити дозвіл різних сіток, щоб сфокусуватися на областях, що цікавлять.

PyroSim підтримує запуск паралельного моделювання за допомогою MPI. Для однієї машини з кількома ядрами або ЦП паралельна обробка є інтегрованим інструментом і всі деталі управляються за вас. Крім того, PyroSim може запускати моделювання FDS у мережевому кластері з кількох комп'ютерів.

FDS 6 представила інтеграцію систем HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря) у моделювання CFD. Система HVAC може транспортувати забруднюючі речовини та тепло через будівлю. Системи HVAC визначаються з використанням повітроводів, вузлів, вентиляторів, теплообмінників (повітряних теплообмінників) та заслінок. Все це можна редагувати та візуалізувати у PyroSim.

Система HVAC може моделювати потік, незалежно від аналізу пожежі. Вони також можуть бути частиною системи протипожежного захисту будівлі при використанні для відведення диму або підтримки герметизації сходових клітин.

PyroSim надає бібліотеки властивостей, які ви можете налаштувати та імпортувати у поточну модель. Це прискорює створення моделі та знижує кількість помилок. Бібліотеки можуть включати реакції, детектори тепла, матеріали, частинки, поверхні та інші параметри моделі.

Сценарії забезпечують швидкий спосіб організації кількох екземплярів даної моделі, кожен із яких має різні набори включених/вимкнених об'єктів. Розробник моделей може керувати цими екземплярами та вибирати, над якими активно працювати. Поки сценарій активний, будь-які об'єкти, відключені розробником моделей, будуть відображатися у списку швидкого ознайомлення. Пакетні сценарії можуть створюватися автоматично для запуску всіх сценаріїв із вихідними файлами, організованими відповідно до визначення сценарію.

PyroSim пропонує повний набір інструментів для малювання, які дозволяють швидко створити модель. Інструменти включають підтримку всіх об'єктів FDS, функції копіювання та вставки, а також прикріплення текстур до поверхонь.

PyroSim підтримує можливість запуску моделювання FDS у хмарі за рахунок інтеграції з високопродуктивним хмарним комп'ютером CFD FEA Service. Після початку моделювання користувачі можуть використовувати панель керування постачальника хмарних послуг для керування своїм прогресом.

Хмарні обчислення полегшують або складну купівлю серверної системи з високою початковою вартістю для масштабування зі збільшенням потреб. Послуги у багатьох галузях пропонують обчислювальну потужність на запит зі спрощеним виставленням рахунків та потужністю на запит.

## **Теми для обговорення:**

1. Імпорт CAD-моделей.



2. Система HVAC.
3. Бібліотеки властивостей.
4. Інтерактивне редагування об'єктів.
5. Візуалізація результатів розрахунку.
6. Розрахунок протипожежних відстаней за допомогою PyroSim.

#### **Завдання для самостійної підготовки:**

I. Підготувати доповідь за темами:

1. Універсальні базові програми, що використовуються у практиці проектування конструкцій будівель і споруд для розрахунку, проектування та випуску робочих креслень.

2. Графічні системи типу AutoCAD.

3. Графічні системи типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop.

4. Проблемно-орієнтовані проектувальні системи.

5. Проектувальні системи типу МОНОМАХ.

6. Інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта.

7. Задачі проектування конструкцій.

8. Особливості програмного комплексу ЛПА.

9. Спеціалізовані процесори, що підключаються до ПК ЛПА.

II. Пройти тестування: тест 13.2. за посиланням <https://forms.gle/CLYJXzYniUDnyree>

**ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 14\_15**  
**ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО**  
**ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА-САПР**

**Література:**

1. Розрахунок та проектування конструкцій. URL: <https://www.liraland.ua/>
2. Довідковий центр. URL: <https://help.liraland.com/uk-ua/>
3. Городецький А. С., Євзеров І. Д. Комп'ютерні моделі конструкцій. Київ: видавництво "Факт", 2005. 344 с.
4. Стрілець-Стрілецький Є. Б., Журавльов А. В., Водоп'янов Р. Ю. ЛІРА-САПР. Книга І. Основи/ред. Городецький О. С. Київ: Видавництво "LIRALAND", 2019. 154 с.
5. САПФІР 2017. Навчальний посібник: навчальний посібник / В. В. Бойченко та ін.; за ред. А. С. Городецький. Київ: Видавництво "СОФОС", 2017. 130 с.
6. Верюжський Ю. В., Колчунов В. І., Барабаш М. С., Гензерський Ю. В. Комп'ютерні технології проектування залізобетонних конструкцій : навчальний посібник. Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2006. 808 с.

**Мета заняття:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з програмним комплексом ЛІРА-САПР.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з використання програмного комплексу ЛІРА-САПР для вирішення задач з забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

**Питання для обговорення:**

1. ПК "ЛІРА САПР", склад, призначення, сфери застосування.
2. Основні конструювальні системи ЛІРА-САПР.
3. Спеціалізовані розрахунково-графічні системи конструювання.
4. ПК "МОНОМАХ САПР".

**Теоретична частина:**

**1. ПК "ЛІРА САПР", склад, призначення, сфери застосування.**

**ПК "ЛІРА-САПР"** - програмний комплекс для розрахунку, дослідження і проектування будівельних конструкцій різного призначення. У ЛІРА-САПР реалізовано технологію інформаційного моделювання будівель (ВІМ), що забезпечується нативним зв'язком з іншими архітектурними, розрахунковими, графічними та документувальними системами.

Програмний комплекс включає інтерфейс користувача нового покоління САПФІР-КОНСТРУКЦІЇ. Система слугує для синтезу розрахункової схеми будівлі на основі керованої процедури перетворення 3D та 2D архітектурних моделей, створених в різних графічних програмах: САПФІР, Allplan, Revit, AutoCAD та інших. Створення розрахункової схеми здійснюється безпосередньо із архітектурної 3D і 2D моделі.

Реалізована бібліотека автоматичних генераторів скінченно-елементних сіток: трикутна SE-сітка для апроксимації криволінійних поверхонь; SE-сітка з максимальним числом чотирикутних SE і покращеною апроксимацією в припорних та прогонових зонах.

**САПФІР-КОНСТРУКЦІЇ** - дозволяє створення і редагування навантажень у вигляді зосереджених та розподілених по лінії і площині. Навантаження задається на довільних поверхнях без прив'язки до SE моделі. Наявна процедура синтезу навантажень, що дозволяє автоматично сформувати експлуатаційні навантаження залежно від призначення приміщень.

В програмі реалізовано діагностику створеної аналітичної моделі, а також:

- розвинене інтуїтивне графічне середовище ВІЗОР-САПР користувача з можливістю 3В-візуалізації розрахункової схеми на всіх етапах синтезу і аналізу;
- багатофункціональний процесор, що реалізує швидкодійні алгоритми компонування і розв'язування систем рівнянь з порядком до декількох мільйонів невідомих;

- розвинену бібліотеку SE, яка дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій;
- можливість розрахунку на динаміку (сейсміка, вітер, вібрація, імпульс, удар);
- конструювальні системи залізобетонних і сталевих елементів;
- спеціалізований документатор, що дозволяє формувати звіт із текстової, табличної та графічної частини;
- зв'язок з іншими розрахунковими, графічними та документувальними системами САПФІР (Revit, Structure, AutoCad, ArchiCAD, Advance Steel, BoCAD, Allplan, STARK ES, Gmsh, MS Word, MS Excel) на основі DXF, MDB, STP, STL, OBJ, IFC та інших форматів.

Програма ПК "ЛПА-САПР" має спеціальні можливості: суперелементне моделювання, модулі урахування фізичної та геометричної нелінійності, набір спеціальних SE для моделювання тертя, проковзування, попереднього натягу. Спеціальна процедура дозволяє виконати автоматичну триангуляцію тривимірного ґрунтового масиву, накласти отриману скінченно-елементну сітку на тривимірну модель ґрунту та призначити фізико-механічні характеристики кожному скінченному елементу залежно від його місцезнаходження. Аналіз напружено-деформованого стану подається у вигляді ізополів на довільних площинах перерізу ґрунтового масиву. Виконання автоматичної триангуляції тривимірного масиву з призначенням фізико-механічних характеристик кожному скінченному елементу.

## **2. Основні конструювальні системи ЛПА-САПР.**

**АРМ-САПР** - конструювальна система армування. Реалізує підбір площі перерізів арматури колон, балок, плит, оболонки за I-ою і II-ою групою граничних станів згідно з діючими нормативними документами. Передбачено використання довільних характеристик бетону і арматури. Реалізовано алгоритми з раціональним розташуванням арматури по перерізу елемента. За результатами розрахунку в програмі формуються ескізи робочих креслень балок і колон.

**ЛАРМ-САПР** - локальний режим армування. В програмі можна конструювати окремий залізобетонний стержень чи окремий елемент пластини. Проводиться підбір і перевірка заданого армування. Реалізовано СП 52-101-2003, СНиП 2.03.01-84, Єврокод, ТСН 102-00, ДСТУ 3760-98, ДБН В.2.6-98:2009.

**СТК-САПР** - металеві конструкції. Програма реалізує конструювання елементів металевих конструкцій і виконує підбір і перевірку перерізів, а також виконує розрахунок і проектування вузлів металевих конструкцій. Система може функціонувати в локальному режимі.

**РС-САПР** - редактор металевих сортаментів. Система є інструментарієм для створення нових і редагування існуючих сортаментних баз прокатних і зварних профілів. Разом з системою надається широкий набір існуючих нормативних баз профілів і сталей країн СНГ, Європи та США.

**КС-САПР** - конструктор перерізів. Дозволяє формувати перерізи довільної конфігурації та обраховувати їх осьові, згинальні, крутні і зсувні характеристики, моменти опору, форму ядра перерізу. Зображається картина розподілу напружень.

## **3. Спеціалізовані розрахунково-графічні системи конструювання.**

**МОНТАЖ плюс** - виконує комп'ютерне моделювання процесу зведення конструкцій висотних будівель із монолітного залізобетону з врахуванням частоті зміни розрахункової схеми, демонтажу стійок опалубки, прикладання та зняття монтажного навантаження, врахування різної жорсткості та міцності бетону, при виконанні будівельних робіт в зимовий період.

**ГРУНТ** - за даними інженерно-геологічних вишукувань будує тривимірну модель з визначенням коефіцієнта постелі для кожного SE.

**КМ-САПР** - дозволяє за даними розрахунків металевих конструкцій в середовищі ЛПА отримати монтажні схеми з маркуванням елементів та вузлів, відомості елементів, креслення вузлів з їх візуалізацією та специфікації, тобто повний комплект креслень в середовищі AutoCAD.

**Варіації моделей** - дозволяє варіювати жорсткістю, граничними умовами, навантаженням, модулем деформації, коефіцієнтами постелі. Ця процедура дозволяє

вирішувати задачі стійкості прогресуючому руйнуванню шляхом послідовного видалення найбільш відповідальних елементів, враховувати знижені модулі деформації при температурних впливах, в зручному режимі виконувати варіантні розрахунки.

**МОСТ** - дозволяє будувати поверхні впливу, отримувати РСЗ і передавати їх в ЛІР-КС, визначати напруження в елементах перерізу металевих прогонних мостів.

**ДИНАМІКА плюс** - дозволяє виконувати розрахунки на динамічні впливи з урахуванням нелінійних властивостей конструкцій (фізичної, геометричної, конструктивної).

#### **4. ПК "МОНОМАХ САПР".**

**ПК МОНОМАХ-САПР** - програмний комплекс для автоматизованого проектування залізобетонних і армокам'яних конструкцій багатопверхових каркасних будівель, який реалізує сучасні концепції автоматизованого проектування в середовищі Windows. На його основі можливе багатоваріантне проектування з вибором раціонального конструктивного рішення і отриманням документації на стадії «Проект».

ПК МОНОМАХ складається із дев'яти інформаційно пов'язаних програм, кожна з яких може працювати в автономному режимі: КОМПОНОВКА, БАЛКА, КОЛОНА, ФУНДАМЕНТ, ПІДПІРНА СТІНА ПЛИТА, РОЗРІЗ (СТІНА), ЦЕГЛА, ГРУНТ.

**КОМПОНОВКА** - коренева програма для проектування багатопверхових каркасних будівель із монолітного залізобетону та будівель із цегляними стінами. Вона дозволяє швидко та зручно в інтерактивному графічному режимі формувати схему будівлі, задавати навантаження у природному вигляді, виконувати розрахунок конструктивних елементів будівлі за міцністю, підбирати перерізи елементів, визначати витрати бетону, арматури, цегли та інших матеріалів, оцінювати вартість споруди, експортувати дані до інших локальних програм.

Основні функції програми:

- формування моделі будівлі на довільній сітці плану з колон, балок, стін, перегородок, плит перекриття, фундаментних плит і паль;
- виконання розрахунку цегляних будівель із несучими стінами та комбінованих каркасних будівель підвищеної поверховості з цегляним заповненням;
- скорочення часу на створення моделі та виконання варіантного проектування за допомогою використання різноманітних сервісних можливостей - переміщення і повороту системи координат, копіювання, переносу, видалення одного або групи елементів, модифікації числових значень, копіювання поверхів;
- завдання вертикальних і горизонтальних навантажень на плити перекриття у вигляді розподілених по всій площині або на ділянці, а також у вигляді зосереджених сил;
- завдання напрямку впливу та інформації про район будівництва для урахування вітрових і сейсмічних навантажень;
- імпорт моделі ґрунту, створеної програмою ГРУНТ;
- автоматичне формування розрахункової схеми будівлі; виконання статичного та динамічного розрахунків, у результаті яких визначають переміщення, зусилля і напруження; виконання підбору або перевірки перерізів елементів; формування відомості видаткової вартості матеріалів, таблиці частот і періодів коливань. Анімація власних коливань дозволяє оцінити коректність створеної моделі;
- виконання експорту даних у програми конструювання БАЛКА, КОЛОНА, ФУНДАМЕНТ, ПЛИТА, РОЗРІЗ (СТІНА), ЦЕГЛА, експорту навантажень на фундаменти у ФОК-ПК, а також експорту розрахункової схеми у ПК ЛІРА.

**БАЛКА** - програма проектування монолітних залізобетонних балок. В програмі реалізовано можливість проектування багатопрогонної монолітної балки змінного перерізу. Схема формується в режимі імпорту та в автономному режимі. Виконується розрахунок за I і II групами граничних станів (за розкриттям тріщин). Є можливість побудови обвідної епюри, знаходження необхідної площі перерізу арматури. Виконується побудова епюри матеріалів. Конструювання балки виконується зварними каркасами чи в'язаною арматурою. Формуються креслення, створюється dxf-файл креслення.

**КОЛОНА** - програма проектування монолітних залізобетонних колон різних форм перерізу та пілонів. Схема формується в автономному режимі і режимі імпорту. Здійснюється розрахунок за I і II групами граничних станів з підбором арматури і конструюванням.

**ПІДПІРНА СТІНА** - програма проектування та перевірки підпірних стін. Програма дозволяє виконати проектування монолітної залізобетонної кутової підпірної стіни для заданих інженерно-геологічних умов будівельного майданчика. Виконується перевірка масивної підпірної стіни. Визначається необхідна площа арматури і також виконується конструювання. Схема формується в автономному режимі. Виконується креслення та створюється dxf-файл креслення.

**ФУНДАМЕНТ** - програма проектування монолітних стовпчастих залізобетонних фундаментів на натуральній основі. Програма дозволяє запроектувати фундамент під колону, розрахувати необхідне армування та виконати конструювання. Виконується креслення та створюється dxf-файл креслення.

**ПЛИТА** - програма проектування монолітних залізобетонних плит перекриття та фундаментних плит. Робота плити в загальному каркасі реалізовується передачею переміщень у вузлах примикання. За результатами розрахунку виконується побудова полів зусиль та епюр для заданого відрізка. Виконується також побудова полів напружень під підшовною фундаментної плити та побудова мозаїки зусиль в палях.

**РОЗРІЗ (СТІНА)** - програма проектування залізобетонних монолітних та цегляних стін. Програма дозволяє виконувати проектування монолітних залізобетонних стін будь-якого обрису сумісно з прилеглими рамними конструкціями. Враховується змінна товщина стіни та наявність отворів. Урахування роботи стіни в загальному каркасі реалізовується передачею переміщень в вузлах прилягання СЕ. За результатами розрахунку виконується побудова полів зусиль та епюр для стержневих елементів. Визначається площа перерізу необхідної арматури, стіна армується сітками та стержнями. Виконується креслення та створюється dxf-файл креслення.

**ЦЕГДА** - програма для проектування стін цегляних будівель. В процесі розрахунку визначається необхідна кількість сіток та підбір стержнів вертикального армування. Схема формується в режимі імпорту із програми КОМПОНОВКА.

#### **Завдання та теми для обговорення:**

1. Робота із ЛПА-САПР (ВІЗОР-САПР). Створення розрахункових схем.
2. Імпорт поповерхових планів файлів DXF в модель ПК ЛПА-САПР.
3. Способи виділення елементів розрахункової схеми.
4. Моделювання перемичок, простінків, пілонів.
5. Автоматична генерація жорстких вставок для стержнів.
6. Вибір компонентів розрахункової схеми в ПК ЛПА-САПР.
7. Глобальні, місцеві, локальні системи координат, кути чистого обертання.
8. Передача деформованої схеми у початкову геометрію.
9. Визначення деформацій основ, складених із специфічних ґрунтів (по ДБН В.2.1-10:2009 «Основи та фундаменти споруд»).
10. Моделювання складених конструкцій стержневими аналогами.
11. Розрахунок деформацій основ складених насипними ґрунтами.
12. Розрахунок деформацій основ складених водонасиченими органічними ґрунтами.
13. Розрахунок деформацій основ складених засоленими ґрунтами.
14. Розрахунок деформацій основ складених набрякливими ґрунтами.
15. Розрахунок деформацій основ складених просадними ґрунтами.
16. Нелінійність в ЛПА-САПР.
17. Врахування нелінійної роботи залізобетону в ПК ЛПА-САПР. Метод «Інженерна нелінійність».
18. Граничні скінченні елементи.
19. Конструктивна нелінійність. Односторонні в'язі. Проблеми реалізації.
20. Можливості застосування суперелементів під час вирішення різних завдань будівельної механіки.
21. Реалізація методу суперелементів у програмному комплексі ЛПА-САПР.
22. Визначення суми теплових потоків, які перетинають досліджувану область.
23. Розв'язання задачі теплопровідності.

### **Питання для контролю знань:**

10. Універсальні базові програми, що використовуються у практиці проектування конструкцій будівель і споруд для розрахунку, проектування та випуску робочих креслень.
11. Графічні системи типу AutoCAD.
12. Графічні системи типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop.
13. Проблемно-орієнтовані проектувальні системи типу.
14. Проектувальні системи типу МОНОМАХ.
15. Інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта.
16. Задачі проектування конструкцій.
17. Особливості програмного комплексу ЛПРА.
18. Спеціалізовані процесори, що підключаються до ПК ЛПРА.

### **Завдання для самостійної підготовки:**

- I. Пройти тестування: тести 14.2 за посиланням <https://forms.gle/KpWwGeLjHsTHY5x99>,
- 15.2. за посиланням <https://forms.gle/qVzpXPq915yXyars6>
- II. Підготуватись до модульної контрольної роботи.

### **Орієнтовні питання для підготовки до модульної контрольної роботи:**

1. Основні етапи розвитку системного підходу.
2. Основні напрямки системних досліджень: системний підхід, теорія систем, системний аналіз.
3. Визначення системного аналізу. Характерні риси системного аналізу. Области використання системного аналізу.
4. Поняття системи та її ознаки. Система і середовище. Поняття елемента, компонента та підсистеми.
5. Основні поняття функціонування та розвитку систем. Життєвий цикл системи.
6. Поняття проблемної ситуації. Ознаки системних проблем.
7. Дослідження проблеми, її формалізація та декомпозиція. Вибір цілей. Оцінка ситуації.
8. Основні етапи підготовки розв'язання проблеми. Загальний підхід до вирішення проблем
9. Основи теорії моделювання систем. Моделі типу «чорна скринька», «склад системи», «структура системи».
10. Міри складності системи. Етапи побудови математичної моделі системи.
11. Морфологічні, функціональні та інформаційні формальні моделі. Методологічні підходи в системному аналізі. Методи в системному аналізі.
12. Поняття, суть та завдання аналізу. Поняття, суть та завдання синтезу. Порівняльна характеристика методів аналізу та синтезу.
13. Поняття декомпозиції. Методика декомпозиції. Формальний опис процедури декомпозиції.
14. Функціональна модель системи пожежної безпеки.
15. Збір даних для побудови моделей, що відтворюють функціонування системи пожежної безпеки. Етапи побудови моделей.
16. Поняття і характеристики організаційної структури управління системою пожежної безпеки.
17. Схема організаційної структури управління системою пожежної безпеки. Основні види структур управління.
18. Функціонально-орієнтована (ієрархічна) структура управління системою пожежної безпеки. Переваги і недоліки функціонально-орієнтованої структури управління.
19. Процесно-орієнтована структура управління системою пожежної безпеки. Переваги і недоліки процесно-орієнтованої структури управління.
20. Порівняння функціонального і процесного управління системою пожежної безпеки.
21. Формалізація задачі. Поняття моделі. Типи моделей.
22. Моделювання. Математичне моделювання. Етапи математичного моделювання.
23. Вимоги до математичних моделей. Класифікація математичних моделей у задачах управління системою пожежної безпеки.

24. Моделі і методи обробки інформації. Групи моделей складних технічних систем: алгебраїчні, статистичні.
25. Методи дослідження операцій..
26. Процеси актуалізації інформації: виявлення інформаційних потреб, вибір джерел інформації, збирання інформації; введення інформації; оброблення інформації; оцінювання інформації; подавання інформації в зручному вигляді.
27. Основні принципи теорії прийняття рішень. Проблема прийняття рішень.
28. Узагальнений процес прийняття рішень: усвідомлення задачі, системний аналіз задачі, оптимізація, вибір і аналіз рішення.
29. Класифікація задач прийняття рішень в залежності від новизни, типу наслідку, виду проблемної ситуації, методу опису і подання, методу пошуку рішень, числа критеріїв, типу критеріальної оцінки рішень, галузі застосування рішень.
30. Постановка задач прийняття рішень. Послідовність дій постановки задачі: установлення меж системи, визначення показника ефективності, вибір системних змінних, побудова моделі.
31. Етапи прийняття рішень. Модель циклу прийняття рішень у проблемних ситуаціях. Усвідомлення ситуації.
32. Формулювання мети прийняття рішення. Визначення шляхів досягнення мети. Вибір ефективного рішення.
33. Схема прийняття рішення в системному аналізі.
34. Роль невизначеності в системному аналізі. Причини невизначеності. Джерела невизначеності. Зовнішні і внутрішні фактори невизначеності. Види невизначеностей.
35. Інформація як міра зняття невизначеності. Ентропія системи. Принцип максимізації ентропії.
36. Загальна схема прийняття статистичних рішень. Вимоги до критеріїв та процедур оцінки та вибору оптимальних систем.
37. Критерії ефективності систем у невизначених операціях. Перевірка статистичних гіпотез.
38. Фактор конфлікту. Причини конфлікту. Ігрові методи обґрунтування рішень.
39. Ігри стратегічні і статистичні. Особливості вирішення стратегічних та статистичних ігор.
40. Рішення ігор. Парні ігри з нульовою сумою. Принцип мінімакса.
41. Планування експерименту для вирішення статистичних ігор з метою ослаблення невизначеності.
42. Управління як функція, як процес, як апарат. Аксиоми теорії управління.
43. Поняття кібернетичної системи, її складові.
44. Структура системи управління. Зв'язок системи з зовнішнім середовищем. Замкнуті та відкриті системи.
45. Поняття функції управління. Цикл управління. Рівні управління.
46. Програмно-модельючий комплекс Pathfinder – моделювання процесу рятування людей.
47. Програмно-модельючий комплекс PyroSim – моделювання процесу рятування людей.
48. Застосування багатофункціонального програмного комплексу ЛІРА-САПР.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 16 МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА

### Література:

1. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».
2. Motorygin Yu.D. Mathematical modeling of the processes of occurrence and development of fires: monograph / Under the general editorship of V.S. Artamonov. 2011. 184 p.
3. System analysis and problems of fire safety of the national economy / N.N. Brushlinsky, V.V. Kafidov, V.I. Kozlachkov and others / Ed. N.N.Brushlinsky. M: Stroyizdat, 1988. 413s.
4. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
5. Уйомов А.І. Системний підхід і загальна теорія систем. М., 1998.
6. Фостер Ян, Кессельмана Карл. Масштабування в системних дослідженнях. Відкриті системи. 2006. № 09. С. 43.
7. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
8. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Учеб. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
9. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.
10. Розрахунок та проектування конструкцій. URL: <https://www.liraland.ua/>
11. Довідковий центр. URL: <https://help.liraland.com/uk-ua/>
12. Городецький А. С., Євзеров І. Д. Комп'ютерні моделі конструкцій. Київ: видавництво "Факт", 2005. 344 с.
13. Стрілець-Стрілецький Є. Б., Журавльов А. В., Водоп'янов Р. Ю. ЛІРА-САПР. Книга І. Основи/ред. Городецький О. С. Київ: Видавництво "LIRALAND", 2019. 154 с.
14. САПФІР 2017. Навчальний посібник: навчальний посібник / В. В. Бойченко та ін.; за ред. А. С. Городецький. Київ: Видавництво "СОФОС", 2017. 130 с.Верюжський Ю. В., Колчунов В. І., Барабаш М. С., Гензерський Ю. В. Комп'ютерні технології проектування залізобетонних конструкцій : навчальний посібник. Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2006. 808 с.
15. Морозова Д.М., Отрош Ю.А., Рибка Є.О., Тригуб В.В. Розбір функціональних характеристик програми PATHFINDER. Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2022. С. 80.
16. Керівництво користувача Pathfinder 2021.4. FireCat. URL: [https://www.pyrosim.ru/download/Pathfinder\\_rus\\_manual.pdf](https://www.pyrosim.ru/download/Pathfinder_rus_manual.pdf)
17. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model / К. McGrattan [et al.] // NIST Special Publication 1018-5. 2009. -94p.
18. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide / К. McGrattan [et al.] // NIST Special Publication 1019-5. 2009. -176.
19. Forney, G.P. Smokeview (Version 5): A Tool for Vizualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume 1: User's Guide / G.P. Forney // NIST Special Publication 1017-1, 2008. – 142 p.
20. PyroSim - полевая модель пожара. URL: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim>
21. Дендаренко В. Ю. Модель процесу управління станом пожежної безпеки. Наукові праці. Комп'ютерні технології. 2014. С. 44–46.
22. Черноусенко О.Ю., Чепелюк О.О., Риндюк Д.В. Основи наукових досліджень та інженерної творчості // Навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 144 «Теплоенергетика». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 270 с.
23. Сізіков О.О., Ніжник В.В., Балло Я.В., Голікова С.Ю., Савченко О.В. Систематизація процесу управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека № 2 (8), 2019. С. 41–49.
24. Кріса І.Я., Михайлов Ю.М., Белан С.В., Штангей Г.В., Єременко В.П. Методи визначення осередку пожежі: Навчальний посібник. Харків: АЦЗУ, 2005. 215 с.
25. Степчук О.М., Полюхович Е.С. Яковчук Р.С. Комп'ютерне моделювання як метод наукових досліджень у галузі пожежної безпеки. Проблеми та перспективи розвитку системи



безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2020. С. 73–76.

26. Кустов М. В., Соболев О. М., Федоряка О. І. Територіальне розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. № 1(33). С. 181–192.

27. Тесленко О. М., Цимбалістий С. З., Кравченко Н. В., Доценко О. Г., Крикун О. М. Аналіз існуючих програмних комплексів для розрахунку часу евакуації людей під час пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека № 1 (7), 2019. С. 33–39.

### **Питання що виносяться на модульну контрольну роботу:**

1. Основні етапи розвитку системного підходу.
2. Основні напрямки системних досліджень: системний підхід, теорія систем, системний аналіз.
3. Визначення системного аналізу. Характерні риси системного аналізу. Области використання системного аналізу.
4. Поняття системи та її ознаки. Система і середовище. Поняття елемента, компонента та підсистеми.
5. Основні поняття функціонування та розвитку систем. Життєвий цикл системи.
6. Поняття проблемної ситуації. Ознаки системних проблем.
7. Дослідження проблеми, її формалізація та декомпозиція. Вибір цілей. Оцінка ситуації.
8. Основні етапи підготовки розв'язання проблеми. Загальний підхід до вирішення проблем
9. Основи теорії моделювання систем. Моделі типу «чорна скринька», «склад системи», «структура системи».
10. Міри складності системи. Етапи побудови математичної моделі системи.
11. Морфологічні, функціональні та інформаційні формальні моделі. Методологічні підходи в системному аналізі. Методи в системному аналізі.
12. Поняття, суть та завдання аналізу. Поняття, суть та завдання синтезу. Порівняльна характеристика методів аналізу та синтезу.
13. Поняття декомпозиції. Методика декомпозиції. Формальний опис процедури декомпозиції.
14. Функціональна модель системи пожежної безпеки.
15. Збір даних для побудови моделей, що відтворюють функціонування системи пожежної безпеки. Етапи побудови моделей.
16. Поняття і характеристики організаційної структури управління системою пожежної безпеки.
17. Схема організаційної структури управління системою пожежної безпеки. Основні види структур управління.
18. Функціонально-орієнтована (ієрархічна) структура управління системою пожежної безпеки. Переваги і недоліки функціонально-орієнтованої структури управління.
19. Процесно-орієнтована структура управління системою пожежної безпеки. Переваги і недоліки процесно-орієнтованої структури управління.
20. Порівняння функціонального і процесного управління системою пожежної безпеки.
21. Формалізація задачі. Поняття моделі. Типи моделей.
22. Моделювання. Математичне моделювання. Етапи математичного моделювання.
23. Вимоги до математичних моделей. Класифікація математичних моделей у задачах управління системою пожежної безпеки.
24. Моделі і методи обробки інформації. Групи моделей складних технічних систем: алгебраїчні, статистичні.
25. Методи дослідження операцій.
26. Процеси актуалізації інформації: виявлення інформаційних потреб, вибір джерел інформації, збирання інформації; введення інформації; оброблення інформації; оцінювання інформації; подавання інформації в зручному вигляді.
27. Основні принципи теорії прийняття рішень. Проблема прийняття рішень.

28. Узагальнений процес прийняття рішень: усвідомлення задачі, системний аналіз задачі, оптимізація, вибір і аналіз рішення.
29. Класифікація задач прийняття рішень в залежності від новизни, типу наслідку, виду проблемної ситуації, методу опису і подання, методу пошуку рішень, числа критеріїв, типу критеріальної оцінки рішень, галузі застосування рішень.
30. Постановка задач прийняття рішень. Послідовність дій постановки задачі: установлення меж системи, визначення показника ефективності, вибір системних змінних, побудова моделі.
31. Етапи прийняття рішень. Модель циклу прийняття рішень у проблемних ситуаціях. Усвідомлення ситуації.
32. Формулювання мети прийняття рішення. Визначення шляхів досягнення мети. Вибір ефективного рішення.
33. Схема прийняття рішення в системному аналізі.
34. Роль невизначеності в системному аналізі. Причини невизначеності. Джерела невизначеності. Зовнішні і внутрішні фактори невизначеності. Види невизначеностей.
35. Інформація як міра зняття невизначеності. Ентропія системи. Принцип максимізації ентропії.
36. Загальна схема прийняття статистичних рішень. Вимоги до критеріїв та процедур оцінки та вибору оптимальних систем.
37. Критерії ефективності систем у невизначених операціях. Перевірка статистичних гіпотез.
38. Фактор конфлікту. Причини конфлікту. Ігрові методи обґрунтування рішень.
39. Ігри стратегічні і статистичні. Особливості вирішення стратегічних та статистичних ігор.
40. Рішення ігор. Парні ігри з нульовою сумою. Принцип мінімакса.
41. Планування експерименту для вирішення статистичних ігор з метою ослаблення невизначеності.
42. Управління як функція, як процес, як апарат. Аксиоми теорії управління.
43. Поняття кібернетичної системи, її складові.
44. Структура системи управління. Зв'язок системи з зовнішнім середовищем. Замкнуті та відкриті системи.
45. Поняття функції управління. Цикл управління. Рівні управління.
46. Програмно-моделюючий комплекс Pathfinder – моделювання процесу рятування людей.
47. Програмно-моделюючий комплекс PyroSim – моделювання процесу рятування людей.
48. Застосування багатофункціонального програмного комплексу ЛІРА-САПР.

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ  
ТА МОДЕЛЮВАННЯ В ПОЖЕЖНІЙ БЕЗПЕЦІ»**

для здобувачів третього (доктор філософії) рівня вищої освіти  
галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність 261 «Пожежна безпека»