

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

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**  
**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**

Рекомендовано до друку  
кафедрою пожежної  
профілактики в населених  
пунктах НУЦЗ України  
(протокол № 7 від 27.02.2023 р.)

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

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

**Конспект** лекцій 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: Ю.А. Отрош, Н.В. Рашкевич. Х.: НУЦЗУ, 2023. 106 с.

## ЗМІСТ

Вступ	4
Лекція 1 Системний підхід та системний аналіз. Основні поняття та визначення.	5
Лекція 2 Принципи та закономірності системного підходу.	17
Лекція 3 Оцінка протиріч. Поняття проблемної ситуації.	23
Лекція 4 Дослідження проблеми, її формалізація та декомпозиція.	31
Лекція 5 Призначення й мета моделювання. Основні теоретичні положення.	37
Лекція 6 Принципи моделювання. Технологія моделювання.	47
Лекція 7 Види моделей та їхні властивості.	51
Лекція 8, 9 Структура управління системою пожежної безпеки.	60
Лекція 10 Математичні моделі розрахунку небезпечних чинників пожежі.	71
Лекція 11 Програмні продукти у сфері забезпечення пожежної безпеки.	85
Лекція 12, 13 Програмні комплекси для визначення часу евакуації людей під час пожежі.	89
Лекція 14. Програмні комплекси моделювання будівельних конструкцій будівель та споруд при пожежі.	98

## 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 ґрунтовного 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, з 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.

# ЛЕКЦІЯ № 1

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Уйомов 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: Навч. 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 лекції:

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.

### План:

1. Загальні засади теорії систем.
2. Основні поняття теорії систем.
3. Основні положення системного аналізу.
4. Основні поняття системного аналізу.

### Теоретична частина:

#### 1. Загальні засади теорії систем.

Фундаментальним поняттям системного аналізу є поняття «система». У науковій літературі є багато визначень поняття «система», що відносяться як до загальних, так і до конкретних систем різних видів. Основоположник теорії систем Людвіг фон Берталанфі визначав систему як комплекс взаємодіючих елементів, що перебувають у певних відношеннях між собою та зовнішнім середовищем.

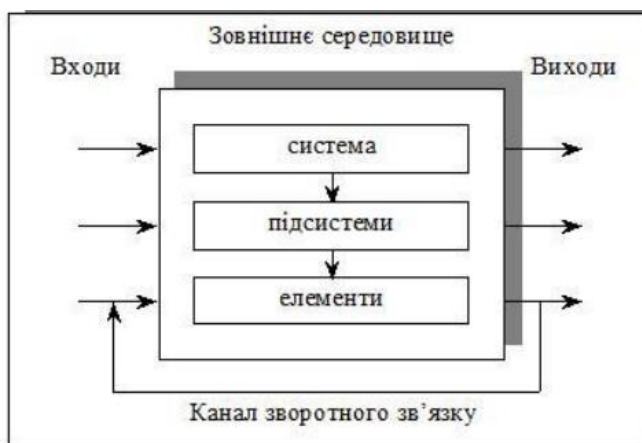


Рис. 1. Графічне зображення систем.

Системи оточують нас всюди: кожний предмет, явище, процес — це системи.

Стан системи характеризується кількісними та якісними значеннями внутрішніх параметрів (змінних) системи в даний момент.

Під структурою системи розуміють її стійку впорядкованість та зв'язки між елементами і підсистемами.

Суть системних досліджень полягає у використанні фундаментального методологічного поняття системи як єдиного абстрактного відображення об'єктів будь-якої природи і ступеня складності; виділенні провідних, визначаючих сторін, тенденцій розвитку системи; подання проблеми як концептуальної системи.



Рис. 2. Схема класифікації систем.

*Системний підхід* – це метод, в якому всі зв'язки, елементи, функції та проблеми розглядаються у вигляді взаємопов'язаного цілого. Задачею системного підходу є формування на рівні спеціальної методології загальнонаукових принципів, положень, понять, форм та методів системних досліджень, відповідно до яких кожен об'єкт, поданий як система, розглядається не тільки як деяке самостійне ціле, а також як частина системи вищого рівня складності (макросистеми) з усіма її суттєвими взаємозв'язками щодо інших об'єктів, які входять до складу цієї макросистеми.

Системний підхід, окрім системності об'єкта дослідження, передбачає ще й системність мислення. Повнота, завершеність та ефективність дослідження будуть забезпечені, якщо дослідник організовуватиме своє дослідження як деяку концептуальну систему. Особливості системного підходу, як методологічної концепції в дослідженні (вивченні) явищ навколишнього світу визначаються таким чином:

1) при дослідженні об'єкта як системи, опис його елементів не є визначальним, оскільки кожен із елементів представляється не як ізольований, а з урахуванням його "місця" в системі;

2) дослідження об'єкта як системи є невід'ємним від дослідження його взаємозв'язків із зовнішнім середовищем, оскільки об'єкт вивчається як підсистема більшої системи, яка виникла поєднанням об'єкта з середовищем;

3) специфічною особливістю є врахування нових властивостей, які виникають при поєднанні елементів у систему (емерджентність).

Системний аналіз – методологія дослідження та проектування складних систем, пошуку, планування та реалізації засобів, спрямованих на вирішення проблемних ситуацій в умовах ризику та невизначеності.

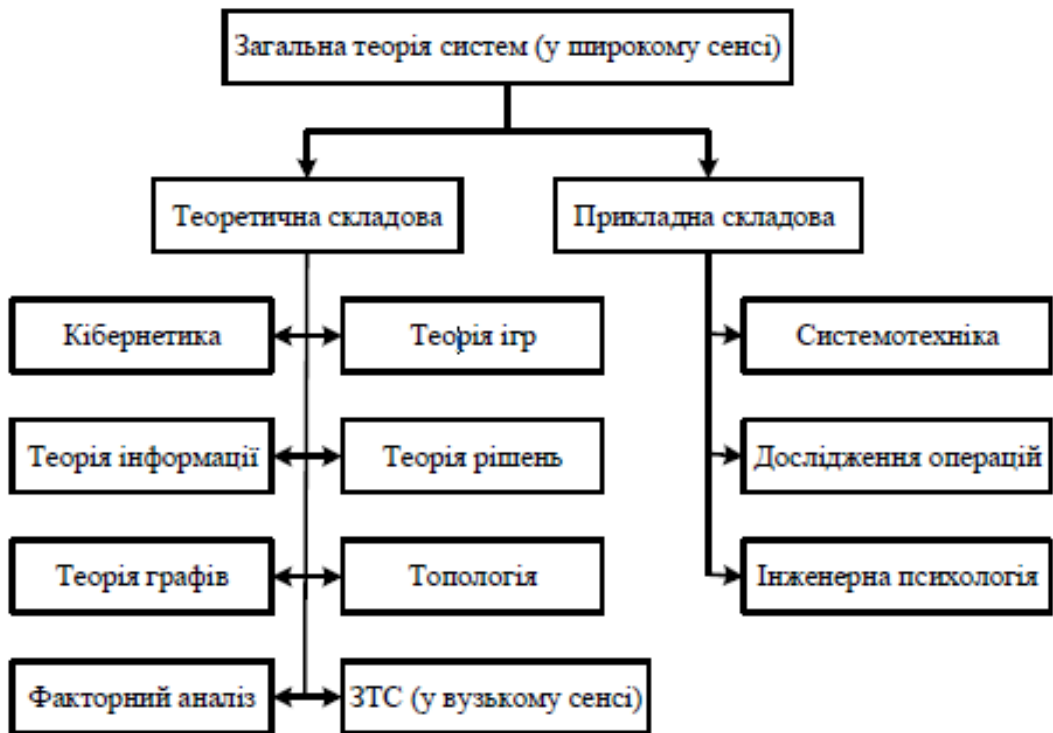


Рис. 3. Схема загальної теорії систем в наведенні Л. Берталанфі.

Рис. 4. Структура системності та складові її функції.

## 2. Основні поняття теорії систем.

Зазвичай основні поняття, що характеризують систему, поділяють на дві групи:

- 1) поняття, що характеризують будову системи;
- 2) поняття, що характеризують функціонування та розвиток системи



Рис 5. Поняття, що характеризують систему.

*Система* – це сукупність елементів (підсистем). За певних умов елементи можна розглядати як системи, а досліджувану систему – як елемент більш складної системи.

*Об'єктом пізнання* є частина реального світу, яку виділяють і сприймають за єдине ціле впродовж тривалого часу. Об'єкт може бути матеріальним і абстрактним, природним і штучним. Реально об'єкт має нескінченний набір властивостей різної природи.

*Елемент*. Під елементом прийнято розуміти найпростішу неподільну частину системи. Елемент – це межа членування системи з точки зору аспекту розгляду, вирішення конкретного завдання, поставленої мети. Систему можна поділити на елементи різними способами залежно від формулювання завдання, мети її уточнення в процесі проведення системного дослідження. За необхідності можна змінювати принцип поділу, виділяти інші елементи й одержувати за допомогою нового поділу більш адекватне уявлення про аналізований об'єкт або проблемну ситуацію.

*Зв'язок* – це елементи, які здійснюють безпосередню взаємодію між елементами (або підсистемами) системи, а також з елементами і підсистемами оточення. Це поняття входить до будь-якого визначення системи і забезпечує виникнення і збереження структури та цілісних властивостей системи, характеризує як її будову (статичку), так і функціонування (динаміку).

*Зв'язок* визначають як *обмеження ступеня свободи елементів*. Дійсно, елементи, вступаючи у взаємодію (зв'язок) між собою, втрачають

частину своїх властивостей, які вони потенційно мали у вільному стані. У визначеннях системи терміни зв'язок і відношення зазвичай використовують як синоніми, хоча у деяких дослідників існує інша точка зору.

Зв'язки можна охарактеризувати *напрямком, силою, характером* (або видом). За першою ознакою зв'язки поділяють на направлені і ненаправлені зв'язки. За силою – на сильні та слабкі. За характером (видом) розрізняють зв'язки підпорядкування, зв'язки породження (або генетичні), рівноправні (чи байдужі) зв'язки, зв'язки управління.

Поняття *підсистема* має на увазі, що виділяють відносно незалежну частину системи, що має *властивості системи* і, зокрема, *має підмету*, на досягнення якої спрямована підсистема, а також інші властивості – властивість цілісності, комунікативності тощо.

Якщо ж частини системи не мають таких властивостей, а являють собою просто сукупності однорідних елементів, то такі частини прийнято називати *компонентами*.

Виділення підсистем залежить від мети і може змінюватися в міру її уточнення та розвитку уявлень дослідника про об'єкт.

*Мета.* Система завжди має цілі, для яких вона функціонує і існує. Поняття «мета» і пов'язані з ним поняття цілеспрямованості, доцільності лежать в основі розвитку системи.

*Структура* – це стійка множина відношень, яка зберігається тривалий час незмінною, принаймні впродовж інтервалу спостереження. Систему можна навести простим перерахуванням елементів, або завданням властивості належності до деякої множини, або послідовним розчленуванням на підсистеми, компоненти, елементи зі взаємозв'язками між ними. В останньому випадку вводять поняття «структура», яке відображає найбільш істотні взаємозв'язки між елементами та їх групами. Такі взаємозв'язки забезпечують існування системи та її основних властивостей. Структурні властивості мають відносну незалежність від елементів і можуть бути інваріантом під час переходу від однієї системи до іншої, переносячи закономірності, виявлені в одній із них, на іншу (навіть якщо ці системи мають різну фізичну природу). Структура може бути наведена графічним зображенням, теоретико-множинним відношенням, у вигляді матриць. Вид наведення системи залежить від мети відображення.

*Функція* – це діяльність, робота, зовнішній прояв властивостей будь-якого об'єкта в даній системі відношень. Функції класифікують за різними ознаками залежно від цілей дослідження.

*Властивості* – це якості параметрів об'єктів, тобто зовнішні прояви того способу, за допомогою якого одержують знання про об'єкт. Властивості дають можливість описувати об'єкти системи кількісно, виражаючи їх в одиницях, що мають певну розмірність. Водночас вони можуть змінюватися в результаті функціонування системи.

Процеси, що відбуваються в складних системах, зазвичай не вдається навести відразу у вигляді математичних співвідношень або хоча б алгоритмів. Тому для того, щоб хоч якось охарактеризувати стабільну ситуацію або її зміни, використовують спеціальні терміни, запозичені теорією систем із теорії автоматичного регулювання, біології, філософії тощо.

Розглянемо основні з цих термінів.

*Входи системи  $x(t)$*  – це різні точки прикладання впливу зовнішнього середовища на систему. Входами системи можуть бути інформація, речовина, енергія тощо, які підлягають перетворенню.

*Виходи системи  $y(t)$*  – це різні точки прикладання впливу системи на зовнішнє середовище. Вихід системи є результатом перетворення інформації, речовини та енергії.

*Зворотний зв'язок* з'єднує вихід зі входом системи й використовується для контролю за зміною виходу.

Рис.6. Схема системи з одиничним зворотним зв'язком.

*Обмеження системи* визначає умови її функціонування (реалізацію процесу) та забезпечує відповідність між виходом системи та вимогою до нього. Обмеження бувають внутрішніми та зовнішніми. Одним із зовнішніх обмежень є мета функціонування системи. Прикладом внутрішніх обмежень можуть бути ресурси, що забезпечують реалізацію того чи іншого процесу.

*Стан.* Поняттям «стан» зазвичай характеризують миттєву фотографію, «зріз» системи, зупинення в її розвитку. Його визначають або через вхідні дії та вихідні сигнали (результати), або через макропараметри, макровластивості системи (тиск, швидкість, прискорення). Так говорять про стан спокою (стабільні вхідні впливи та вихідні сигнали), про стан рівномірного прямолінійного руху (стабільну швидкість) тощо.

*Стан системи  $Z(t)$*  – сукупність істотних властивостей, які система має в кожен момент часу. Якщо система складається з  $n$  елементів, то стан системи визначають сукупністю станів кожного з елементів і зв'язків між ними.

*Рух системи* – це процес послідовної зміни її стану.

*Вимушений рух системи* – зміна її стану під впливом зовнішнього середовища. Прикладом вимушеного руху може бути переміщення ресурсів за наказом (надійшов у систему ззовні).

*Власний рух* – зміна стану системи без впливу зовнішнього середовища (лише під дією внутрішніх причин). Власним рухом системи

«людина» буде її життя як біологічного (а не суспільного) індивіда, тобто харчування, сон, розмноження.

Стан системи  $Z(t)$  у будь-який момент часу залежить від функції входів  $x(t)$

$$Z(t) = F_c[x(t)], \quad (1)$$

де  $F_c$  – функція станів системи (перехідна функція).

Стан системи  $Z(t)$  у будь-який момент часу  $t$  також залежить від попередніх її станів у моменти  $Z(t-1)$ ,  $Z(t-2)$ ,..., тобто від функцій її станів (переходів)

$$Z(t) = F_c[x(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots].$$

Зв'язок між функцією входів  $x(t)$  і функцією виходів  $y(t)$  системи, без урахування попередніх станів, можна навести у вигляді

$$y(t) = F_s[x(t)],$$

(систему з такою функцією виходів називають *статичною*.)

де  $F_s$  – функція виходів системи.

Якщо ж система залежить не лише від функції входів  $x(t)$ , а й від функцій станів (переходів)  $Z(t-1)$ ,  $Z(t-2)$ ,..., то функція виходу набере вигляду:

$$y(t) = F_s[x(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots]. \quad (2)$$

(систему з такою функцією виходів називають *динамічною* (або системою з поведінкою))

Залежно від математичних властивостей функції входів  $x(t)$  і виходів  $y(t)$  системи поділяють на системи *дискретні* та *безперервні*.

Для безперервних систем вирази (1) і (2) виглядають так:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = F_c[x(t), Z(t)]; \quad (3)$$

$$y(t) = F_s[x(t), Z(t)]. \quad (4)$$

Рівняння (3) визначає стан системи і називається *рівнянням змінних станів* системи.

Рівняння (4) визначає спостережуваний нами вихід системи і називається *рівнянням спостережень*.

Функції  $F_s$  (функція станів системи) і  $F_v$  (функція виходів) враховують не лише поточний стан  $Z(t)$ , а й попередні стани  $Z(t-1)$ ,  $Z(t-2)$ , ...,  $Z(t-v)$  входів системи.

*Поведінка* системи – процес цілеспрямованої зміни в часі стану системи. Вона описує *характер руху* системи. Якщо система здатна переходити з одного стану до іншого, то говорять, що вона має поведінку. Це поняття використовують, коли є невідомими закономірності (правила) переходу з одного стану до іншого. Тоді говорять, що система має деяку поведінку і з'ясовують її характер, алгоритм.

*Рівновага*. Рівновагою називають здатність системи за відсутності зовнішніх збурювальних впливів (або за постійних дій) зберігати свій стан як завгодно довго. Цей стан називають *станом рівноваги*.

*Стійкість*. Під стійкістю розуміють здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх (а в системах з активними елементами – внутрішніх) збурювальних впливів. Ця здатність зазвичай властива системам за незмінного виходу системи  $y(t)$  лише тоді, коли відхилення не перевищують деякої межі.

Стан рівноваги, в якій система здатна повертатися, називають *стійким станом рівноваги*. Повернення в цей стан може супроводжуватися коливальним процесом. Отже, в складних системах можливі нестійкі стани рівноваги.

Прості системи мають пасивні форми стійкості: міцність, збалансованість, керованість, гомеостаз. А для складних систем визначальними є активні форми стійкості: надійність, живучість і здатність до адаптації.

*Надійність* – властивість збереження структури систем, незважаючи на загибель окремих її елементів, за допомогою їх заміни або дублювання, а *живучість* – властивість системи зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх впливів, що призводять до відмов її складових частин. Отже, надійність є більш пасивною формою, ніж живучість.

*Здатність до адаптації* – це властивість змінювати поведінку або структуру з метою збереження, поліпшення або придбання нових якостей в умовах зміни зовнішнього середовища. Обов'язковою умовою можливості адаптації є наявність зворотних зв'язків.

*Розвиток* – незворотна, спрямована, закономірна зміна матерії та свідомості. У результаті виникає нова якість або стан об'єкта. Це поняття допомагає пояснити складні термодинамічні та інформаційні процеси в природі та суспільстві. Дослідження процесу розвитку, співвідношення

розвитку та стійкості, вивчення основних механізмів є найбільш складними завданнями теорії систем.

*Життєвий цикл* – період часу від виникнення потреби в системі та її становлення до зменшення ефективності функціонування системи та її «смерті» або ліквідації.

### **3. Основні положення системного аналізу.**

Системний аналіз як дисципліна сформувався внаслідок виникнення необхідності досліджувати та проєктувати складні системи, управляти ними в умовах *неповноти інформації, обмеженості ресурсів і дефіциту часу*. Системний аналіз є подальшим розвитком цілої низки дисциплін, таких як дослідження операцій, теорія оптимального управління, теорія ухвалення рішень, експертний аналіз, теорія організації експлуатації систем тощо. Для успішного вирішення поставлених завдань системний аналіз використовує всю сукупність *формальних і неформальних* процедур. Перераховані теоретичні дисципліни є базою та методологічною основою системного аналізу. Отже, системний аналіз – міждисциплінарний курс, узагальнюючий методологію дослідження складних технічних, природних і соціальних систем. Поширення ідей і методів системного аналізу, а головне – успішне їх застосування на практиці, стало можливим лише завдяки впровадженню і повсюдному використанню ЕОМ. Саме застосування ЕОМ як інструмент вирішення складних завдань дало можливість перейти від побудови теоретичних моделей систем до їх широкого практичного застосування.

*Центральною проблемою системного аналізу є проблема ухвалення рішення*. Стосовно завдань дослідження, проєктування та управління складними системами проблема ухвалення рішення пов'язана з вибором певної альтернативи в умовах різного роду *невизначеностей*.

*Невизначеність* пов'язана з такими умовами:

- багатокритеріальністю завдань оптимізації;
- невизначеністю цілей розвитку систем;
- неоднозначністю сценаріїв розвитку системи;
- недостатністю апріорної інформації про систему;
- впливом випадкових факторів у ході динамічного розвитку системи тощо.

До складу *задач системного аналізу* в процесі створення інформаційних систем входять задачі *декомпозиції, аналізу та синтезу*.

Задача *декомпозиції* означає наведення системи у вигляді підсистем, що складаються з більш дрібних елементів. Часто задачу декомпозиції розглядають як складову частину аналізу.

Задача *аналізу* полягає в знаходженні різного роду властивостей системи або середовища, що оточує систему. Метою аналізу може бути визначення закону перетворення інформації, що задає поведінку системи.

В останньому випадку мова йде про агрегації (композиції) системи в один єдиний елемент.

Задача *синтезу* системи є протилежною задачі аналізу. Необхідно за описаним законом перетворення побудувати систему, що фактично виконує це перетворення за певним алгоритмом. Водночас повинен бути попередньо визначений клас елементів, з яких будується система, що реалізує алгоритм функціонування.

#### **4. Основні поняття системного аналізу.**

*Елемент* – деякий об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей і який реалізує в системі певний закон функціонування, внутрішню структуру якого не розглядають.

Під *властивістю* розуміють сторону об'єкта, що зумовлює його відмінність від інших об'єктів або схожість із ними і якою управляють під час взаємодії з іншими об'єктами.

Властивості поділяють на *зовнішні*, які проявляються у формі вихідних характеристик лише під час взаємодії із зовнішніми об'єктами, і *внутрішні*, які проявляються у формі змінних станів під час взаємодії з внутрішніми елементами і є причиною зовнішніх властивостей.

Деякі властивості можна охарактеризувати величинами, які набувають числового значення. У такому разі їх називають *параметрами*.

Властивості задають відношеннями. Існує декілька форм наведення відношень: функціональна (функція, функціонал, оператор), матрична, таблична, логічна, графова, алгоритмічна, перетинами. Формально властивості можуть бути наведені також і у вигляді закону функціонування елемента.

*Характеристика* – це те, що відображає деяку властивість системи. Характеристики елемента є залежними змінними і відображають властивості елементів.

*Показник* – характеристика, що відображає деяку *j*-ту систему або цільову спрямованість процесу (операції), що реалізується *j*-тою системою.

*Алгоритм функціонування* – це метод одержання вихідних характеристик з урахуванням вхідних впливів, впливів управління і впливів зовнішнього середовища.

*Якість* – сукупність істотних властивостей об'єкта, які обумовлюють його придатність для використання за призначенням.

*Критерій ефективності* – узагальнений показник і правило вибору кращої системи (кращого рішення).

*Проблема* – невідповідність між існуючим і бажаним (цільовим) станом системи за даним станом середовища у даний момент часу.

### **Питання для контролю знань:**

1. Визначення понять: «система», «підсистема», «системний аналіз», «системний підхід».
2. Особливості системного підходу, як методологічної концепції в дослідженні.
3. Визначення понять: «об'єкт пізнання», «елемент», «зв'язок», «компонент», «мета», «структура», «функція».
4. В чому полягають обмеження системи.
5. Визначення понять: «стан системи», «рух системи», «поведінка системи», «рівновага системи», «стійкість системи», «розвиток системи», «життєвий цикл».
6. Що є центральною проблемою системного аналізу.
7. З чим пов'язана невизначеність?
8. В чому полягають задачі декомпозиції?
9. В чому полягають задачі аналізу?
10. В чому полягають задачі синтезу?
11. Визначення понять: «елемент», «характеристика», «показник», «проблема».

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Надати визначення понять: «онтологія», «гносеологія», «комплексія», «кон'югація», «інгресія», «дезінгресія».
- III. Підготувати доповідь за темою:
  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.
- IV. Пройти тестування за темою лекції: тест 1.1. за посиланням <https://forms.gle/uxGPRrzo3gsLd5qD8>



## **ЛЕКЦІЯ № 2**

### **ПРИНЦИПИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ**

#### **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: Навч. 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 лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними принципами та закономірностями 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.

#### **План:**

1. Основні принципи системного підходу.
2. Закономірності систем.
3. Етапи і послідовність системного аналізу.
4. Завдання та процедури системного аналізу.

#### **Теоретична частина:**

##### **1. Основні принципи системного підходу.**

Всі існуючі системи підпорядковуються певним принципам, до яких відносяться:

1. Принцип цілісності, полягає у тому, що не можна звести властивості системи до суми властивостей її складових елементів, а з властивостей останніх не впливають властивості системи. Властивості і відношення кожного елемента системи залежать від його місця і функцій в системі.

2. Принцип структурності, означає, що будь-яку систему можна охарактеризувати на основі існуючих зв'язків і відношень між її елементами, тобто на основі її структури. Поведінка системи обумовлюється поведінкою її окремих елементів і властивостями її структури.

3. Принцип взаємозалежності системи і середовища, полягає у тому, що система формує і проявляє свої властивості в процесі її взаємодії із середовищем, в якому функціонує дана система і у взаємовідносинах з котрим система відображає свою цілісність.

4. Принцип ієрархічності, полягає у тому, що будь-яка система може бути елементом системи більш високого порядку, у той час як її елементи можуть бути системами більш низького порядку.

5. Принцип множинності опису системи, означає, що через принципову складність кожної системи її адекватне пізнання вимагає побудови значної кількості різних моделей, кожна з яких описує чи відображає лише певний аспект системи.

## **2. Закономірності систем.**

До закономірностей систем відносяться:

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

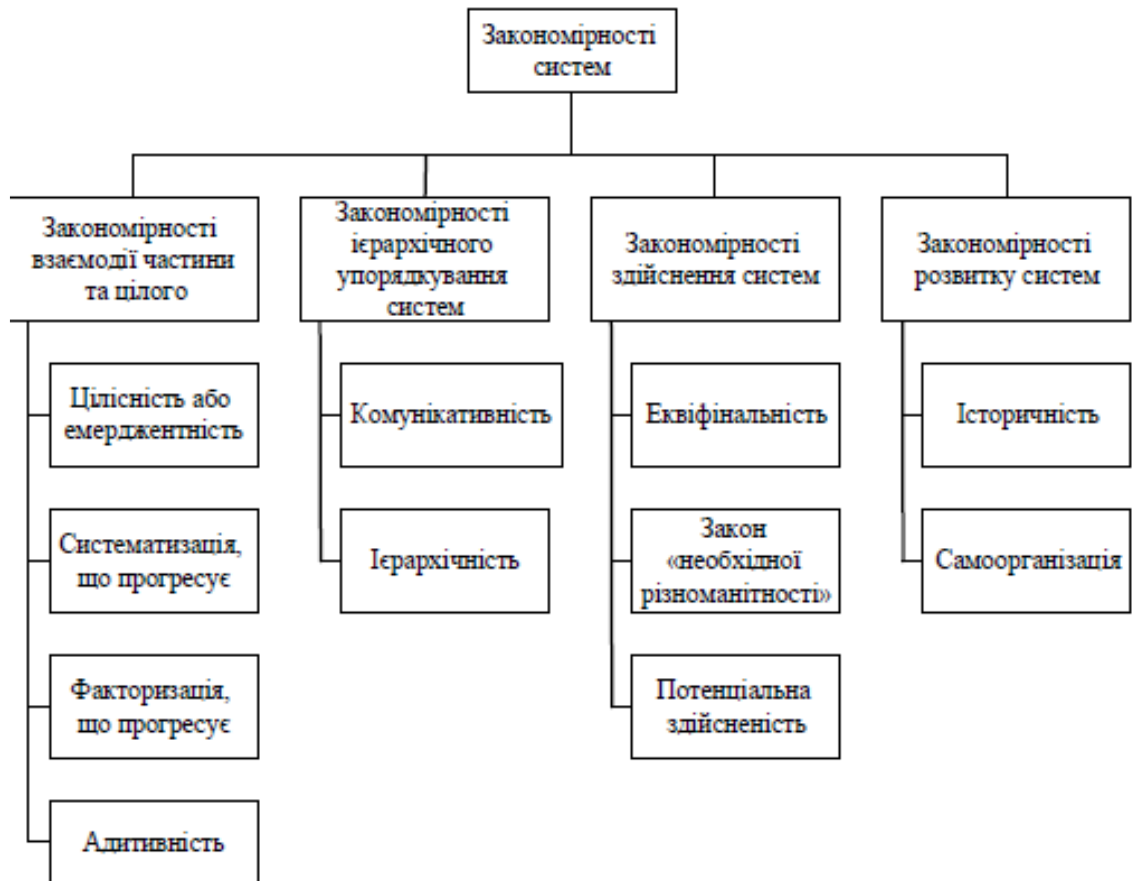


Рис. 1. Закономірності систем.

### 3. Етапи і послідовність системного аналізу.

Під час практичного застосування системного аналізу для дослідження властивостей і подальшого оптимального управління системою можна виділити такі *основні етапи*:

- 1) змістовну постановку завдання;
- 2) побудову моделі досліджуваної системи;
- 3) відшукування рішення завдання за допомогою моделі;
- 4) перевірку цього рішення за допомогою моделі;
- 5) підналаштування рішення під зовнішні умови;
- 6) здійснення рішення.

У кожному конкретному разі етапи системного аналізу мають різну «питому вагу» в загальному обсязі робіт за часовими витратними й інтелектуальними показниками. Дуже часто важко провести чіткі межі – зазначити, де закінчується один етап і починається інший.

Системний аналіз не може бути повністю формалізований, але можна вибрати певний алгоритм його здійснення.

Системний аналіз може бути виконаний у такій *послідовності*:

- 1) постановка проблеми – відправний момент дослідження. У дослідженні складної системи йому передуює робота зі структурування проблеми;

2) розширення проблеми до проблематики, тобто знаходження системи проблем, істотно пов'язаних із досліджуваною проблемою, без урахування яких вона не може бути вирішена;

3) виявлення цілей. Цілі свідчать про напрямок, в якому потрібно рухатися, щоб поетапно вирішити проблему;

4) формування критеріїв. Критерій – це кількісне відображення ступеня досягнення системою поставлених перед нею цілей. Критерій – це правило вибору кращого варіанта рішення з ряду альтернативних. Критеріїв може бути декілька. Багатокритеріальність є способом підвищення адекватності описання мети. Критерії повинні описати за можливістю всі важливі аспекти мети, але водночас необхідно мінімізувати кількість необхідних критеріїв;

5) агрегування критеріїв. Виявлені критерії можуть бути об'єднані або в групи, або замінені узагальнювальним критерієм;

6) генерування альтернатив і вибір за критеріями найкращої з них. Формування множини альтернатив є творчим етапом системного аналізу;

7) дослідження ресурсних можливостей, зокрема й інформаційних ресурсів;

8) вибір формалізації (моделей і обмежень) для вирішення проблеми;

9) побудова системи;

10) використання результатів проведеного системного дослідження.

#### **4. Завдання та процедури системного аналізу.**

*1. Завдання дослідження системи взаємодій аналізованих об'єктів із довкіллям.* Вирішення цього завдання передбачає:

– проведення межі між досліджуваною системою і довкіллям, яка зумовлює граничну глибину впливу розглянутих взаємодій, якими обмежується розгляд;

– визначення реальних ресурсів такої взаємодії;

– розгляд взаємодії досліджуваної системи з системою більш високого рівня.

*2. Завдання пов'язані з конструюванням альтернатив цієї взаємодії, альтернатив розвитку системи в часі і в просторі.* Розроблення методів і засобів підсилення індуктивних можливостей людського мислення на відміну від його дедуктивних можливостей, на підсилення яких спрямоване розроблення формальних логічних засобів.

*3. Завдання* полягають у конструюванні множини імітаційних моделей, що описують вплив тієї чи іншої взаємодії на поведінку об'єкта дослідження. Зазначимо, що в системних дослідженнях не мають на меті створення деякої супермоделі. Мова йде про розроблення окремих моделей, кожна з яких вирішує свої специфічні питання.

*4. Завдання пов'язані з конструюванням моделей ухвалення рішень.* Будь-яке системне дослідження пов'язане з дослідженням різних альтернатив розвитку системи. Завдання системних аналітиків – вибрати і

обґрунтувати найкращу альтернативу розвитку. На етапі вироблення і ухвалення рішень необхідно враховувати взаємодію системи з її підсистемами, поєднувати цілі системи з цілями підсистем, виділяти глобальні та другорядні цілі.

Кінцевою метою системного аналізу є вирішення проблемної ситуації, що виникла перед об'єктом проведеного системного дослідження (зазвичай це конкретна організація, колектив, підприємство, окремих регіон, соціальна структура тощо). Системний аналіз займається вивченням проблемної ситуації, з'ясуванням її причин, виробленням варіантів її усунення, ухваленням рішення і організацією подальшого функціонування системи, що вирішує проблемну ситуацію.

Початковим етапом будь-якого системного дослідження є вивчення об'єкта системного аналізу з подальшою його формалізацією.

Важливе місце в процедурах системного аналізу займає *проблема ухвалення рішення*. Особливістю завдань, що виникають перед системними аналітиками, є необхідність відзначити вимоги оптимальності прийнятих рішень.

До *загальних основних процедур* системного аналізу належать:

- вивчення структури системи, аналіз її компонентів, виявлення взаємозв'язків між окремими елементами;
- збирання даних про функціонування системи, дослідження інформаційних потоків, спостереження та експерименти над аналізованою системою;
- побудова моделей;
- перевірка адекватності моделей, аналіз невизначеності та чутливості;
- дослідження ресурсних можливостей;
- визначення цілей системного аналізу;
- формування критеріїв;
- генерування альтернатив;
- реалізація вибору і ухвалення рішень;
- впровадження результатів аналізу.

#### **Питання для контролю знань:**

1. В чому полягає принцип цілісності системного підходу.
2. В чому полягає принцип структурності системного підходу.
3. В чому полягає принцип взаємозалежності системи і середовища.
4. В чому полягає принцип ієрархічності.
5. В чому полягає принцип множинності опису системи.
6. Основні завдання системного аналізу.
7. Особливості завдань системного аналізу.
8. Основні процедури системного аналізу.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Надати визначення понять: «евристика», «емерджентність», «комунікативність», «ієрархічність», «еквіфінальність».
- III. Підготувати доповідь за темою:
  1. Особливості формулювання проблеми та визначення мети системного аналізу.
  2. Генерування альтернатив як один із етапів досягнення сформульованої мети.
  3. Особливості впровадження результатів системного аналізу.
- IV. Пройти тестування за темою лекції: тест 2.1. за посиланням <https://forms.gle/Gqp4cqWAPiDRANzXA>

## **ЛЕКЦІЯ № 3**

### **ОЦІНКА ПРОТИРІЧ. ПОНЯТТЯ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ**

#### **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: Навч.. 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.
7. 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.

#### **Мета лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними принципами та закономірностями 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.

#### **План:**

1. Алгоритм вирішення винахідницьких задач (АВВЗ).
2. Основні прийоми усунення протиріч.
3. Ознаки наукової проблемної ситуації.

#### **Теоретична частина:**

##### **1. Алгоритм вирішення винахідницьких задач (АВВЗ).**

Заснований на вченні про протиріччя (передбачає виявлення, уточнення і усунення протиріччя). Виявлені в процесі рішення технічних задач протиріччя можна поділити на:

– адміністративні, які присутні початково у самому факті виникнення винахідницької задачі, коли потрібно щось зробити, але як це зробити – невідомо.

– технічні – протиріччя, які виникають між частинами і параметрами системи при спробі їх зміни: якщо відомими способами покращувати одну частину (параметр), то недопустимо погіршується інша (параметр).

– фізичні – протиріччя, що полягають у висуванні до однієї і тієї ж самої частини системи взаємно протилежних вимог. Фізичні протиріччя є причиною технічних.

Вивчення проблемної ситуації – це насамперед виявлення технічних протиріч. Технічні протиріччя завжди проявляються своєрідно при вирішенні різних винахідницьких задач. Це створює свою проблемну ситуацію, і мета творчості полягає в специфічному її розв'язанні. Результатом розв'язання технічного протиріччя стає створення технічного об'єкта (системи).

Алгоритм – комплекс послідовно виконаних дій, направлених на рішення задачі.

Стратегія вирішення винахідницької задачі:

1) Формулюють початкову задачу (ЗП) в загальному виді. Враховується вектор психологічної інерції (ВІ) (винахідник спочатку спирається на свій попередній досвід) і технічні рішення в даній та інших областях.

2) Викладають умови задачі, що полягає в перерахуванні елементів технічної системи і небажаного ефекту, який здійснюється одним з елементів (задача оброблена ЗО).

3) Формулюють ідеальний кінцевий результат (ІКР). При порівнянні ІКР з реальними технічними об'єктами виявляється технічне протиріччя, а потім його причина – фізичне протиріччя. Технічне протиріччя – протиріччя між основними показниками (потужність – вага, продуктивність – якість).

Задачу розв'язують, користуючись фондом прийомів знешкодження технічних протиріч і фондом фізичних ефектів і явищ. Суть АВВЗ – виявити протиріччя і усунути його, перебравши відносно невелику кількість варіантів.

## **2. Основні прийоми усунення протиріч.**

1. Дроблення: розділити об'єкт на незалежні частини; виконати об'єкт розбірним; збільшити ступінь дроблення.

2. Винесення: відокремити від об'єкта частину або властивість, яка «заважає»; виділити єдину потрібну частину або потрібну властивість.

3. Місцева якість: перейти від однорідної структури об'єкта або зовнішнього середовища до неоднорідної; різні частини повинні мати різні функції, кожна частина об'єкта повинна перебувати в умовах, найбільш сприятливих до роботи.

4. Асиметрія: перейти від симетричної форми об'єкта до асиметричної.



5. Об'єднання: з'єднати однорідні або призначені для суміжних операцій об'єкти; об'єднати в часі однорідні або суміжні операції.

6. Універсальність: об'єкт виконує кілька різних операцій-функцій, завдяки чому зникає необхідність в інших. 7. Матрьошка: один об'єкт розміщений всередині другого, який, в свою чергу, знаходиться всередині третього; один об'єкт проходить крізь порожнину в іншому.

8. Антивага: компенсувати вагу об'єкта з'єднанням з іншим, який володіє підйомною силою; взаємодією із середовищем.

9. Попереднє напруження: заздалегідь надати об'єкту зміни, протилежні неприпустимим робочим змінам.

10. Попереднє виконання: заздалегідь виконати потрібну зміну об'єкта, заздалегідь розташувати об'єкти так, щоб вони могли вступити в дію без витрат часу на їх доставку і з найбільш зручного місця.

11. Заздалегідь підкладена подушка: компенсувати відносно невисоку надійність об'єкта заздалегідь підготовленими засобами.

12. Еквіпотенційність: змінити умови роботи так, щоб не доводилося піднімати або опускати об'єкт.

13. Навпаки: замість дій, які продиктовані умовами задачі, здійснити зворотну дію; зробити рухому частину об'єкта або зовнішнього середовища нерухомою, а нерухому – рухомою; перевернути об'єкт «з ніг на голову».

14. Сфероїдальність: перейти від прямолінійних ділянок до криволінійних, від плоских – до сферичних, від частин у вигляді куба або паралелепіпеда – до кульових конструкцій; використання роликів, кульок, спіралей.

15. Динамічність: характеристики об'єкта або ВС повинні змінюватися так, щоб бути оптимальними на кожному етапі роботи: розділити об'єкт на частини, які здатні переміщуватися одна відносно одної.

16. Часткове або надлишкове рішення: якщо складно отримати 100% потрібного ефекту, треба отримати «трохи менше» або «трохи більше»; задача може суттєво спроститися.

17. Принцип переходу в інший вимір: заміна руху об'єкта вздовж лінії рухом у двох вимірах (на площині), рух на площині замінити просторовим (у трьох вимірах). Багатоповерхова (замість одноповерхової) компоновка об'єктів. Використання зворотної сторони даної площини. Використання оптичних потоків, які падають на сусідню площину або на зворотний бік даної. Нахилити об'єкт або покласти його на бік.

18. Використання механічних коливань: привести об'єкт у коливний рух. Якщо такий рух уже здійснюється – збільшити його частоту (аж до ультразвукової). Застосувати замість механічних вібраторів п'єзовібратори. Використовувати ультразвукові коливання в поєднанні з електромагнітними полями. Використати резонансну частоту.

19. Принцип періодичної дії: перейти від неперервної дії до періодичної (імпульсної). Якщо дія вже виконується періодично – змінити періодичність. Використати паузи між імпульсами.

20. Принцип безперервності корисної дії: проводити роботу безперервно (усі частини об'єкта весь час працюють з повним навантаженням). Усунути холості проміжні ходи. Перейти від зворотно-поступального руху до обертового.

21. Принцип "проскоку": подолати шкідливі або небезпечні стадії процесу на великій швидкості.

22. Принцип "перетворити шкоду на користь": використати шкідливі фактори (зокрема, шкідливий вплив середовища) для отримання позитивного ефекту. Усунути шкідливий фактор за рахунок поєднання з іншим шкідливим фактором. Підсилити шкідливий фактор до такої міри, щоб він перестав бути шкідливим.

23. Принцип зворотного зв'язку: ввести зворотний зв'язок. Якщо зворотний зв'язок є – змінити його.

24. Принцип "посередника": використати проміжний об'єкт – переносник потрібної дії. Тимчасово приєднати до об'єкта інший, який легко відокремлюється.

25. Принцип самообслуговування: об'єкт повинен сам себе обслуговувати, виконуючи допоміжні і ремонтні операції. Використати відходи (енергії, речовини).

26. Принцип копіювання: замість недоступного, складного, великої вартості, незручного або крихкого об'єкта використати його спрощені й дешеві копії. Замінити об'єкт або систему об'єктів їх оптичними зображеннями (копіями), використовуючи при цьому зміну масштабу. Якщо використовуються видимі оптичні лінії, перейти до копій інфрачервоних або ультрафіолетових.

27. Дешева недовговічність замість дорогої довговічності: замінити дорогий об'єкт набором дешевих, поступившись при ньому деякими властивостями (наприклад, довговічністю).

28. Заміна механічної схеми: замінити механічну систему електричною, оптичною, акустичною або "запаховою". Використати електричні, магнітні й електромагнітні поля для взаємодії з об'єктом. Перейти від нерухомих полів до рухомих, від фіксованих до змінних у часі, від не структурних – до полів з певною структурою. Використати поля в поєднанні з феромагнітними частинками.

29. Використання пневмоконструкцій і гідро конструкцій: замість твердих частин об'єкта використати газоподібні й рідкі: надувні й гідронаповнені, повітряну подушку, гідростатичні й гідро-реактивні.

30. Використання гнучких оболонок і тонких плівок: замість об'ємних конструкцій використати гнучкі оболонки і тонкі плівки. Ізолювати об'єкт від зовнішнього середовища за допомогою гнучких оболонок і тонких плівок.

31. Застосування пористих матеріалів: зробити об'єкт пористим або використати додаткові пористі елементи (вставки, покриття і т.д.). Якщо об'єкт пористий, попередньо заповнити пори певною речовиною.

32. Принцип зміни забарвлення: змінити забарвлення об'єкта або зовнішнього середовища. Змінити ступінь прозорості об'єкта або зовнішнього середовища. Для спостереження за об'єктами або процесами, які погано видно, використовувати добавки-барвники. Якщо такі добавки вже застосовуються, використовувати мічені атоми або люмінофори.

33. Принцип однорідності: об'єкти, що взаємодіють з даним об'єктом, повинні бути зроблені з того самого матеріалу (або з близькими за властивостями).

34. Принцип відкидання або регенерації частин: частина об'єкта, що виконала своє призначення або стала непотрібною, повинна бути відкинута (розчинена, випарена і т.п.) або видозмінена в процесі роботи. Витратні частини об'єкта повинні бути відновлені безпосередньо в процесі роботи.

35. Зміна фізико-хімічних параметрів об'єкта: змінити агрегатний стан об'єкта. Змінити концентрацію або консистенцію. Змінити ступінь гнучкості. Змінити температуру, об'єм.

36. Застосування фазових переходів: використати явищ, що виникають при фазових переходах, наприклад, зміна об'єму, виділення або поглинання тепла.

37. Застосування термічного розширення: використати термічне розширення (або стискання) матеріалів. Якщо термічне розширення вже використовується, застосувати кілька матеріалів з різними коефіцієнтами термічного розширення.

38. Застосування сильних окислювачів: замінити звичайне повітря збагаченим. Замінити збагачене повітря киснем. Впливати на повітря або кисень іонізуючим випромінюванням. Використати озонований кисень. Замінити озонований (або іонізований) кисень озonom.

39. Зміна ступеня інертності середовища: замінити звичайне середовище нейтральним (інертним). Увести в об'єкт нейтральні частини, добавки тощо. Здійснювати процес у вакуумі.

40. Застосування композитних матеріалів: перейти від однорідних матеріалів до композитних.

### **3. Ознаки наукової проблемної ситуації.**

Проблемна ситуація - інтелектуальне ускладнення людини, що виникає у випадку, коли вона не знає, як пояснити певне явище, факт, процес дійсності, не може досягти мети знайомим їй способом, що спонукає людину шукати новий спосіб пояснення або спосіб дії.

Проблемна ситуація розглядається як гносеологічний конструкт міждисциплінарного формату(за А. В. Фурманом)

У процесі розв'язання проблемних ситуацій відбувається:

1) перенесення вже набутих знань і вмінь на нову ситуацію, тобто їх асиміляція;

2) виокремлення у звичних ситуаціях нових проблем та постановка нових завдань, тобто залучення процесів акомодатії;

3) за умови творчого підходу знаходиться оригінальний спосіб її вирішення.

Тому використання саме проблемних ситуацій сприятиме розвитку уяви, самостійності у прийнятті та виконанні рішень, пошуку нових способів дій задля досягнення мети і розв'язання виниклої суперечності.

Основні функції проблемної ситуації:

1) визначення напряму розумового пошуку, тобто діяльності зі знаходження способу розв'язання проблемної ситуації;

2) формування пізнавальних здібностей, інтересу, мотивів діяльності по засвоєнню нових знань.

Проблемні ситуації класифікуються за різними критеріями:

- за спрямованістю: на пошук нових знань або способів дії, на виявлення можливості застосування відомих знань і способів в нових умовах;

- за рівнем проблемності залежно від того, наскільки гостро виражені суперечності;

- з дисциплін і предметів, у яких допустиме застосування тих чи інших проблемних ситуацій;

– за характером змістової сторони суперечностей:

1) недостатність знань для пояснення нового факту, умінь для вирішення нового завдання;

2) необхідність використовувати раніше засвоєні знання і (або) уміння, навички в нових практичних умовах;

3) наявність суперечності між теоретично можливим шляхом рішення задачі і практичною нездійсненністю вибраного способу;

4) наявність суперечності між практично досягнутим результатом виконання завдання і відсутністю знань для його теоретичного обґрунтування.

Питання про те, чи існує проблема, має першорядне значення, оскільки додаток величезних зусиль до вирішення неіснуючих проблем - аж ніяк не виняток, а вельми типовий випадок. Надумані проблеми маскують актуальність проблеми. У той же час вдала формулювання проблеми може бути рівнозначна половині її рішення.

Проблема є основою всієї роботи. Отже, потрібно чітко, ясно, коректно сформулювати проблему. Вона може бути усвідомлена у вигляді проблемної ситуації, невирішене питання, теоретичної чи практичної задачі і т.п.

Проблема – це свого роду межа між знанням і незнанням. Вона виникає тоді, коли колишнього знання стає недостатньо, а нове ще не прийняло розвинутої форми.

Якщо проблема позначена і сформульована у вигляді ідеї, концепції, то це значить, що можна приступати до постановки задачі щодо її вирішення.

Формулювання проблеми наукового дослідження – це кристалізація задуму наукової роботи. Тому правильна постановка проблеми - запорука успіху. Щоб вірно виявити проблему, необхідно зрозуміти, що вже розроблено в обраній темі, що слабо розроблено, а чого взагалі ніхто не торкався, а це можливо лише на основі вивчення наявної літератури.

Будь-яке наукове дослідження проводиться для того, щоб подолати певні труднощі в процесі пізнання нових явищ, пояснити раніше невідомі факти або виявити неповноту старих способів пояснення відомих фактів. Ці труднощі в найбільш виразній формі проявляють себе в так званих проблемних ситуаціях, коли існуюче наукове знання виявляється недостатнім для вирішення нових завдань пізнання. Проблема завжди виникає тоді, коли старе знання вже виявило свою неспроможність, а нове знання ще не прийняло розвинутої форми. Таким чином, проблема в науці - це суперечлива ситуація, що вимагає свого вирішення. Така ситуація найчастіше виникає в результаті відкриття нових фактів, які явно не вкладаються в рамки колишніх теоретичних уявлень, тобто коли жодна з теорій не може пояснити знов виявлені факти. Правильна постановка і ясне формулювання нових проблем нерідко має не менше значення, ніж рішення їх самих. По суті, саме вибір проблем, якщо не цілком, то в дуже великій мірі визначає стратегію дослідження взагалі і напрямок наукового пошуку в особливості. Невипадково прийнято вважати, що сформулювати наукову проблему - означає показати вміння відокремити головне від другорядного, з'ясувати те, що вже відомо і що поки невідомо науці про предмет дослідження.

На відміну від життєвої, наукова проблема формується в термінах певної наукової галузі. «Чому сонце світить?» - Питання, але не проблема, оскільки тут не вказані область коштів і метод розв'язання. «Чи є відмінності в агресивності, особистісному властивості людей, генетично детермінованим ознакою або залежать від впливів сімейного виховання?» - Це проблема, яка сформульована в термінах психології розвитку і може бути вирішена певними методами.

Проблема є характеристика проблемної, тобто суперечливої ситуації - невідповідність теорії про предмет суспільної практики цієї практики, - яке виявляє дослідник у вивченому їм матеріалі. Бачення тієї чи іншої проблеми певним вченим-обумовлено, по-перше, обмеженістю особистого досвіду - тим, що в безпосередньому особистому досвіді вчений завжди має справу лише з тією чи іншою частиною об'єктивної дійсності і, по-друге, тими його уявленнями про цю дійсність, які склалися в результаті всієї його наукової підготовки. Ясно, що кожен дослідник бачить різні проблеми і може по-різному вважати, яка з них є актуальною проблемою. Тобто по-різному визначається і мета наукового дослідження. Це є

результат рішення проблеми в ідеальній формі. Мета взагалі може бути зовнішньою необхідністю для дослідника.

Наукова проблема виникає в умовах проблемної ситуації, коли складається і усвідомлюється протиріччя між знанням про потреби людей у ході їх діяльності та незнанням засобів, шляхів, способів задоволення (реалізації) цих потреб, яке в кінцевому рахунку впирається в незнання певних закономірностей об'єктивного світу.

Проблемна ситуація виникає також як суперечність між існуючими теоріями та новими фактами, які потребують іншому теоретичному тлумаченні, або ж як з'ясування внутрішньої логічної суперечливості існуючих теорій і т.д. Протиріччя - це показник того, що знання, зафіксоване в загальноприйнятих положеннях, надто загально, не конкретно, однобічно.

Практика є основою виникнення проблемної ситуації. У процесі практичної взаємодії людини та об'єктів його діяльності створюється і постійно відтворюється протиріччя між якісно швидко змінюються і кількісно швидко зростаючими потребами суспільства і тими коштами (можливостями), якими суспільство має в своєму розпорядженні для їх задоволення. Необхідність в розкритті законів нових, невідомих сфер діяльності і є основою проблеми.

#### **Питання для контролю знань:**

1. Поділ протиріч.
2. Технічні протиріччя.
3. Стратегія вирішення винахідницької задачі.
4. Основні прийоми усунення протиріч.
5. Ознаки наукової проблемної ситуації.
6. Основні функції проблемної ситуації.
7. Класифікація проблемної ситуації.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Надати визначення понять: «конфлікт», «протиріччя», «зіткнення», «протистояння», «дихотомія», «дилема», «дезінтеграція», «боротьба», «аномалія».
- III. Підготувати доповідь за темою:
  8. Закономірності взаємодії частини та цілого систем.
  9. Закономірності ієрархічного впорядкування систем.
  10. Закономірності функціонування та розвитку систем.
  11. Закономірність здійснення систем.
  12. Закономірності виникнення і формулювання цілей систем.
  13. Закономірності формування структур цілей систем.
- IV. Пройти тестування за темою лекції: тест 3.1. за посиланням <https://forms.gle/Bhfe58Mq9HF9iRTr5>

## ЛЕКЦІЯ № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ, ЇЇ ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ДЕКОМПОЗИЦІЯ

### Література:

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
2. Уйомов 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: Навч.. 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 лекції:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними принципами та закономірностями 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.

### План:

1. Проблема в системі форм наукового знання.
2. Генезис наукової проблеми.
3. Вирішення проблем як умова розвитку наукового знання.
4. Постановка і розробка наукових проблем.
5. Формалізація та декомпозиція.

### Теоретична частина:

**Наукова проблема** (від грец. *problema* – задача, завдання) – це сукупність нових діалектично складних теоретичних або практичних питань, які суперечать існуючим знанням або прикладним методам у цій науці і потребують вирішення за допомогою **наукових** досліджень.

## 1. Проблема в системі форм наукового знання.

Роль проблеми полягає насамперед у тому, що вона є *джерелом і стимулом* наукового дослідження.

характеризуючи проблему як *зв'язуючу ланку між спостереженнями і теоретичними уявленнями*, мають на увазі встановлення відповідності або невідповідності між *новими спостереженнями й наявними методами* теоретичного пояснення.

Нездатність старих теоретичних методів пояснити нові спостереження і факти й становить зміст виникаючої *наукової проблеми*.

В *науковому дослідженні* мають справу з проблемами емпіричного і теоретичного характеру.

Гносеологічне і евристичне значення наукової проблеми полягає в тому, щоб *точно і ясно вказати на конкретну трудність*, на специфічну перешкоду, що виникла на тій чи іншій стадії пізнання. Недарма стверджується:

"Правильно сформулювати проблему - значить наполовину вирішити її". Якщо говорити спрощено, проблема - це знання про існуючий незнання, зміст якого, стосовно кожної конкретної дослідницької ситуації, включає в себе:

- виявлення тих труднощів, які можна подолати шляхом модифікації старої теорії для продовження роботи в рамках вже існуючої парадигми;
- виявлення таких компонентів старої парадигми: знань, логіки і мови, - які могли б бути використані для вирішення нової проблеми;
- пояснення того, чому і для чого необхідні нові, раніше не використовувалися методи, способи і логіка дослідження, виявлення конкретних напрямів, на яких слід отримати нові наукові знання;
- виявлення характеристик конкретної проблемної ситуації.

*Проблемна ситуація* характеризує систему труднощів, що склалася в тій чи іншій галузі наукової діяльності. Проблемну ситуацію зазвичай пов'язують з *виявленням протиріччя*, або невідповідності між *новими фактами і старими методами* їх пояснення.

Як формулювання, і подальше рішення проблеми спираються на предпосилочних знання, що сформулювалося в рамках тієї парадигми, в якій працює дослідник. До такого знання, зокрема, відносяться:

- наукова мова;
- фундаментальні поняття і теорії;
- стандарти міркувань;
- допущення;
- надійно перевірені емпіричні результати.

## 2. Генезис наукової проблеми.

Зміст наукових проблем впливає насамперед з виявлення *протиріч всередині існуючих теорій*, з неузгодженості окремих їх частин, з недостатньої обґрунтованості вихідних понять і т.д. Прикладом найбільш



фундаментальних проблем в цьому відношенні можуть служити **проблеми обґрунтування математики**, пов'язані з виявленням антиномій або парадоксів, які викликали кризу її підстав.

У **експериментальних і емпіричних науках** основна причина виникнення проблем полягає в виявленні невідповідності або **протиріччя між колишніми теоретичними методами пояснення і знову виявленими емпіричними фактами**.

Однак коли число аномальних фактів (тобто не пояснених в рамках старої парадигми) швидко зростає, відбувається **відмова від старої парадигми** і починається перебудова всієї колишньої концептуальної системи.

Характер наукових проблем може бути різним: фундаментальних, прикладних, глобальним, локальним та ін. Найбільше число виникають у науці проблем носить приватний характер. Для їх дозволу виявляється необхідним:

- або модифікувати існуючі теорії в рамках домінуючої парадигми;
- або створювати **приватні теорії** для пояснення знову відкритих фактів.

Наука безперервно прагне вдосконалити свої теорії і методи пізнання, постійно наближаючись до абсолютної істини шляхом виявлення, подолання та виправлення помилок. Таким чином, виникнення нових проблем обумовлено як станом і рівнем наукових знань, так і результатами їх застосування в пізнавальній і практичній діяльності. Саме зменшувана ефективність такого застосування призводить до виникнення наукових проблем. Безумовно, спостереження та експерименти можуть **передувати** появі проблем в тих ситуаціях, коли доводиться аналізувати факти, які явно спростовують колишні уявлення і пояснення. Саме в цьому сенсі справедливе твердження про те, що достовірні факти, отримані шляхом спостережень і експериментів, складають надійний емпіричний базис науки.

Безперервне виникнення і поновлення протиріччя або невідповідності між новими фактами і старими теоретичними способами їх пояснення характеризує реальний прогрес науки.

### **3. Вирішення проблем як умова розвитку наукового знання.**

Проблема як діалектичне протиріччя в розвитку науки конкретно виражається в нездатності старих теорій і методів пояснити нові факти.

Процес вирішення проблеми виявляється **поетапним**.

- спочатку висувається порівняно слабе припущення і робиться спроба перевірки цього припущення за допомогою тих фактів, які були не в змозі пояснити старі гіпотези чи теорії.

- якщо це припущення виявиться невірним, то дослідник отримує більш чітке уявлення про ступінь труднощі проблеми.

- на основі такого більш ясного уявлення висувається більш сильне припущення для того, щоб усунути розбіжність між припущенням і фактами.

Критично обговорюючи і перевіряючи висунуті гіпотези, дослідники виключають ті з них, які є менш ефективним засобом вирішення проблем, і вибирають кращі, за допомогою яких досліджувані проблеми вирішуються більш ефективно і адекватно.

Еволюція знання включає два найважливіших фактори:

- випадковий спосіб висунування припущень, припущень і гіпотез;
- виключення тих гіпотез, які при перевірці виявилися помилковими.

#### **4. Постановка і розробка наукових проблем.**

На основі аналізу проблемної ситуації здійснюється перехід до наступного ступеня дослідницького процесу, а саме - до висунення, постановці і точної формулюванні проблеми. Цей етап включає наступні складові:

- ясне вираження мети проблеми;
- розгляд умов, при яких проблема може бути вирішена;
- аналіз обмежень, які накладаються на вирішення проблеми.

**Мета** проблеми - усунення невідповідності між новими фактами і старими способами їх пояснення в емпіричних науках, а також підвищення рівня обґрунтованості вихідних принципів і основних понять в абстрактних, теоретичних науках.

**Умови** проблеми - передумови, які необхідні і достатні для її вирішення.

**Обмеження** проблеми - ті вимоги, які накладаються на вирішення проблеми.

Попереднє загальне ознайомлення з проблемою починається з **постановки проблеми**.

Тут враховується ряд умов, які носять інтерсуб'єктивний (визнаний і врахований більшістю суб'єктів наукового дослідження) характер:

- рівень теоретичної зрілості тієї чи іншої науки;
- дослідні напрацювання і заділи, що сформувалися в даній науці;
- стан емпіричної та експериментальної бази, а також перспективи подальшого розвитку відповідної галузі науки.

Разом з тим істотну (а іноді й вирішальну) роль у процесі дозволу наукових проблем грають якості суб'єкта пізнання: кваліфікація, особистий досвід, обдарованість, вміння бачити точки зростання науки, найбільш ефективні напрямки наукового пошуку, сміливість у висунанні нових ідей, ретельний аналіз і критична оцінка отриманих результатів.

**Розробка наукових проблем** в абстрактних науках (математика, математична логіка та ін.) Починається зі з'ясування питання про те, чи може конкретна проблема бути дозволена в принципі. Саме тому в сучасній математиці широке поширення отримали докази про

нерозв'язності деяких видів проблем, в першу чергу, за допомогою алгоритмів.

У емпіричних і фактуальних науках розробка проблем починається з аналізу **конкретних умов**, при яких проблема може бути вирішена. Разом з цими умовами виявляються обмеження, які накладаються на її рішення.

Потім виділяється стадія **генерування** нових ідей, припущень і робочих гіпотез, яка не під дається точному логічному аналізу. Проте результати розробки нових гіпотез можуть вивчатися раціональними методами. Для оцінки **пробних рішень** проблеми використовують, в першу чергу, евристичні прийоми:

- уявний експеримент;
- математичні моделі;
- комп'ютерні методи аналізу;
- правдоподібні міркування (аналогія, індукція, статистика та ін.);
- імовірнісні оцінки отриманих результатів.

Як правило, вибирається найбільш правдоподібна гіпотеза. Правдоподібність не тотожне істинності. Воно означає лише ймовірність істинності знання або міру його наближення до істини.

Слід розрізняти **проблеми** і **завдання**. Різниця між завданнями і проблемами полягає в тому, що для вирішення завдань часто існують загальні правила, методи або прийоми. Такі алгоритми вирішення арифметичних, алгебраїчних, геометричних задач. Існує досить велика кількість загальноприйнятих стандартних методів вирішення технічних завдань. Однак для вирішення "повноцінних" наукових проблем не існує подібних алгоритмів, і тому для їх вирішення використовується творча уява, інтуїція та інші евристичні засоби наукового дослідження.

Проміжне становище між науковими проблемами і завданнями займають проблеми, які пов'язані з **вибором між альтернативними можливостями** їх вирішення. Існує загальна математична **теорія вибору і прийняття рішень**, що сформувалася на основі теорії дослідження операцій, що виникла в період Другої світової війни.

**Логічна** (або **логіко-математична**, якщо рішення проблеми включає використання математичного апарату) стадія вирішення проблеми включає:

- по-перше, перевірку формулювання проблеми, а також запропонованого дослідником рішення на **несуперечність** і **інформативність**;

- по-друге, виведення для перевірки рішення проблеми всіх логічних наслідків з такого рішення, в першу чергу таких наслідків, які допускають емпіричну перевірку; ці слідства зіставляють з результатами спостережень і експериментів.

## **5. Формалізація та декомпозиція.**

**Формалізація** – метод логіки; це процес подання інформації про об'єкт, процес, явище в формалізованому вигляді; метод подання змістової теорії як числення. Полягає в заміні всіх змістових тверджень відповідними їм послідовностями символів або формулами.

Формалізація – це метод відображення певної області у вигляді формальної системи, коли форма виділяється як особливий предмет дослідження незалежно від змісту. Такий метод полегшує вивчення предмета.

Формалізація дає змогу виявити загальні структури думок, сформулювати на цій основі загальні закони і правила міркування, завдяки чому можна змінити будь-яке змістовне міркування, фрагмент тексту чи й цілий текст відповідною системою формул.

Будь-яка формалізація за визначенням ігнорує деяку частину доступної інформації, тому формалізація – це тільки правильний спосіб з'єднання думок, сам же висновок може зовсім не відповідати дійсності.

**Декомпозиція** – науковий метод, що використовує структуру завдання і дозволяє замінити вирішення одного великого завдання рішенням серії менших завдань, нехай і взаємопов'язаних, але більш простих. Декомпозиція, як процес розділення, дозволяє розглядати будь-яку досліджувану систему як складну, що складається з окремих взаємопов'язаних підсистем, які, в свою чергу, також можуть бути розділеними на частини. Як системи можуть виступати не тільки матеріальні об'єкти, а й процеси, явища і поняття.

### **Питання для контролю 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.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Підготувати доповідь за темою:
  4. Еволюція проблеми обґрунтованості наукових знань.
  5. Суть наукової проблеми.
  6. Постановка проблеми, її формулювання.
  7. Висування гіпотези.
  8. Вибір способів вирішення наукової проблеми.
  9. Відмінність наукової проблеми від завдань.
  10. Правила декомпозиції.

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 4.1. за посиланням <https://forms.gle/uCnUSSE5NChCUdhD9>

## **ЛЕКЦІЯ № 5**

### **ПРИЗНАЧЕННЯ Й МЕТА МОДЕЛЮВАННЯ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ**

#### **Література:**

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Уйомов 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: Навч.. 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 лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з метою моделювання у сфері пожежної безпеки, основними теоретичними положеннями.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **План:**

1. Основні види моделей.
2. Основні властивості моделей.
3. Цілі моделювання.
4. Класифікація моделей.

#### **Теоретична частина:**

Моделювання в широкому сенсі – це особливий пізнавальний процес, метод теоретичного та практичного опосередкованого пізнання, коли суб'єкт замість безпосереднього об'єкта пізнання вибирає чи створює схожий із ним допоміжний об'єкт-замісник (модель), досліджує його, а здобуту інформацію переносить на реальний предмет вивчення.

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

Моделювання – складне, трудомістке і відповідальне наукове завдання. Іноді дослідження за допомогою моделей є єдиною 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 важким завданням. Під час розв'язання цього завдання 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 разі, коли рівняння досліджуваних процесів невідомі, числа подібності можна знайти за теорією розмірностей. У разі наявності диференціальних рівнянь досліджуваних процесів, числа подібності легко визначаються, як коефіцієнти рівнянь, які представлено в безрозмірному вигляді. Природно, що одержання критеріїв подібності за 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 (уявлена або матеріально реалізована система), котрий, відбиваючи чи відтворюючи в певному сенсі об'єкт дослідження, здатний заміщати його так, що вивчення моделі дає нову інформацію про об'єкт.

### **1. Основні види моделей.**

Моделювання - заміщення досліджуваного об'єкта (оригіналу) його умовним чином, описом або іншим об'єктом (моделлю) та пізнання властивостей оригіналу шляхом дослідження властивостей моделі.

З моделями та моделюванням ми стикаємося у нашому житті щодня. У процесі мислення людина оперує образами об'єктів навколишнього світу, які є різновидами моделей – когнітивними (мисленими) моделями. У широкому значенні твори живопису, скульптури та літератури вважатимуться моделями реальних об'єктів.

Реальна користь від моделювання може бути отримана під час виконання двох основних умов:

- модель повинна бути адекватною оригіналу в тому сенсі, що повинна з достатньою точністю відображати характеристики оригіналу, що цікавлять дослідника;

- модель має усувати проблеми, пов'язані з фізичним виміром якихось сигналів чи характеристик оригіналу.

Залежно від способу реалізації, всі моделі можна розділити на два класи.

Фізичні моделі припускають, зазвичай, реальне втілення тих фізичних властивостей оригіналу, які цікавлять дослідника. Фізичні моделі спрощені і менші і називаються макетами. Фізичне моделювання інакше називається макетуванням.

Математичні моделі є формалізовані описи об'єкта чи системи з допомогою деякого абстрактного мови, наприклад, як сукупності математичних співвідношень чи схеми алгоритму. Розрізняють різні види математичного моделювання: вербальні (словесні), графічні, табличні, аналітичні та алгоритмічні.

Іноді математична модель описується рівняннями, які впливають з розгляду фізичної сутності явища, що моделюється, або системи. Однак частіше опис моделюваних об'єктів і систем носить суто формальний характер і базується на тому, що багато явищ часом різної природи описуються рівняннями (алгебраїчними, диференціальними та іншими) одного і того ж виду. У цьому випадку говорять про формальні моделі.

Крім того, явища, системи та їх моделі можуть бути нестационарними та стаціонарними. Нестационарні моделі характеризуються залежністю їх властивостей від часу. Стаціонарні моделі такої залежності не мають. Звичайно, що моделювання нестационарних явищ набагато складніше, ніж стаціонарних.

## **2. Основні властивості моделей.**

Моделі мають низку властивостей, від яких залежить успіх їх застосування.

- Скінченість: модель відображає оригінал лише в кінцевому числі його відносин і, крім того, ресурси моделювання кінцеві;

- Спрощеність: модель відображає тільки істотні сторони об'єкта;

- Наближеність: дійсність відображається моделлю грубо або приблизно;

- Адекватність: наскільки успішно модель описує моделюєму систему, характеризує спроможність ММ відтворювати властивості виробу з похибкою не більше заданої;

- Інформативність: модель повинна містити достатню інформацію про систему - в рамках гіпотез, прийнятих при побудові моделі;

- Потенційність: передбачуваність моделі і її властивостей;

- Складність: зручність її використання;

- Повнота: враховані всі необхідні властивості, надання отримувачу всієї необхідної інформації про об'єкт;

- Адаптивність. Гнучкість – можливість відтворення різних ситуацій у всьому діапазоні зміни умов і параметрів;

Трудомісткість розробки повинна бути прийнятною для наявного часу і програмних засобів.

Стійкість моделі - це її здатність зберігати адекватність при дослідженні ефективності системи на всьому можливому діапазоні робочого навантаження, а також при внесенні змін в конфігурацію системи.

Універсальність характеризує можливість використання даної математичної моделі до великої групи однотипних виробів.

Наприклад, закон Ома описує поведінку резистора в схемах незалежно від того його габаритів, номіналу, механічної прочності і таке інше.

### **3. Цілі моделювання.**

1) модель потрібна для того, щоб зрозуміти як влаштований конкретний об'єкт, яка його структура, основні властивості, закони розвитку і взаємодії з навколишнім світом (розуміння);

2) модель потрібна для того, щоб навчитися управляти об'єктом (або процесом) і визначити найкращі способи управління при заданих цілях і критеріях (управління);

3) модель потрібна для того, щоб прогнозувати прямі і непрямі наслідки реалізації заданих способів і форм впливу на об'єкт (прогнозування).

- Пізнання дійсності
- Проведення експериментів
- Проектування та управління
- Прогнозування поведінки об'єктів
- Тренування і навчання фахівців
- Обробка інформації

### **4. Класифікація моделей.**

Класифікація моделей за областю використання:

Навчальні моделі – використовуються при навчанні;

Дослідні – це зменшені або збільшені копії проєктованого об'єкта.

Використовують для дослідження і прогнозування його майбутніх характеристик.

Науково - технічні – створюються для дослідження процесів і явищ.

Ігрові – репетиція поведінки об'єкта в різних умовах.

Імітаційні – відображення реальності в тій чи іншій мірі (це метод проб і помилок) за способом моделювання:

- символічні;
- речові (фізичні і приладові); за призначенням:
- гносеологічні (для встановлення законів природи);
- сенсуального (для опису емоційної сфери);
- інформаційні (для розробки); за способом побудови моделі:
- аналітичні;
- формальні;



- комбіновані; за принципом побудови:
- стохастичні (містять імовірнісні факти, що представляють собою систему емпіричних залежностей, отриманих в результаті статистичного обстеження об'єкта);

- детерміновані (систему функціональних залежностей); за типом опису мови моделі:

- текстові,
- математичні,
- графічні,
- змішані.

За фактором часу:

Статичні – моделі, що описують стан системи в певний момент часу (одноразовий зріз інформації по даному об'єкту). Приклади моделей: класифікація тварин, будова молекул, список посаджених дерев, звіт про обстеження стану зубів в школі і т.д.

Динамічні – моделі, що описують процеси зміни і розвитку системи (зміни об'єкта в часі). Приклади: опис руху тіл, розвитку організмів, процес хімічних реакцій. за галуззю знань – це класифікація за галуззю діяльності людини: математичні, біологічні, хімічні, соціальні, економічні, історичні і т.д.

За формою подання:

Матеріальні – це предметні (фізичні) моделі. Вони завжди мають реальне втілення. Відображають зовнішні властивості і внутрішній устрій вихідних об'єктів, суть процесів і явищ об'єкта-оригіналу. Це експериментальний метод пізнання навколишнього середовища. Приклади: дитячі іграшки, скелет людини, опудало, макет сонячної системи, шкільні посібники, фізичні та хімічні досліди.

Абстрактні (нематеріальні) – не мають реального втілення. Їх основу складає інформація. Це теоретичний метод пізнання навколишнього середовища.

За ознакою реалізації:

Уявні моделі формуються в уяві людини в результаті роздумів, висновків, іноді у вигляді деякого образу. Це модель супроводжує свідомої діяльності людини.

Вербальні – уявні моделі, виражені в розмовній формі. Використовуються для передачі думок.

Інформаційні моделі – цілеспрямовано відібрана інформація про об'єкт, яка відображає найбільш істотні для дослідника властивостей цього об'єкта.

Типи інформаційних моделей:

Табличні - об'єкти і їх властивості представлені у вигляді списку, а їх значення розміщуються в осередках прямокутної форми. Перелік однотипних об'єктів розміщений в першому стовпці (або рядку), а

значення їх властивостей розміщуються в наступних стовпцях (або рядках).

Ієрархічні - об'єкти розподілені за рівнями. Кожен елемент високого рівня складається з елементів нижнього рівня, а елемент нижнього рівня може входити до складу лише одного елемента вищого рівня.

Мережеві - застосовують для відображення систем, в яких зв'язки між елементами мають складну структуру.

За ступенем формалізації інформаційні моделі бувають образно-знакові та знакові.

*Образно-знакові моделі:*

Геометричні (малюнок, піктограма, креслення, карта, план, об'ємне зображення)

Структурні (графічні форми та об'ємні конструкції, таблиця, граф, схема, діаграма)

Словесні (опис природними мовами, усні та письмові описи з використанням ілюстрацій)

Алгоритмічні (нумерований список, покрокове перерахування, блок-схема).

Алгоритми – знання, які вибудовуються людиною в ланцюжок так, щоб з'єднати початковий стан з бажаним, метою; це один з варіантів ряду заходів, кроків, що призводять до мети.

Структурні моделі – схеми, графіки, таблиці і т. п. ;

Логічні моделі – моделі, в яких представлені різні варіанти вибору дій на основі висновків і аналізу умов;

*Знакові моделі:*

Математичні – представлені математичними формулами, що відображають зв'язок різних параметрів об'єкта або процесу

Спеціальні – представлені на спецмовах (ноти, хімічні формули)

Алгоритмічні – програми

Проте, стосовно природничих і технічних наук прийнято розрізняти такі види моделювання:

- концептуальне моделювання, при якому сукупність вже відомих фактів або подань щодо досліджуваного об'єкта або системи тлумачиться за допомогою деяких спеціальних знаків, символів, операцій над ними або допомогою природного або штучного мов;

Концептуальна (змістовна) модель – це абстрактна модель, яка визначає структуру модельованої системи, властивості її елементів і причинно-наслідкові зв'язки, властиві системі і суттєві для досягнення мети моделювання. Іншими словами, це змістовна модель, при формулюванні якої використовуються поняття і уявлення предметних областей, пов'язаних з моделлю.

Виділяють три види концептуальних моделей: логіко-семантичні, структурно-функціональні та причинно-наслідкові.

Логіко-семантична модель – опис об'єкта в термінах відповідних предметних областей знань. Аналіз таких моделей здійснюється засобами логіки із залученням спеціальних знань.

При побудові структурно-функціональної моделі об'єкт розглядається як цілісна система, яку розчленовують на окремі підсистеми або елементи. Частини системи пов'язують структурними відносинами, що описують підпорядкованість, логічну і тимчасову послідовність вирішення завдань.

Причинно-наслідкова модель служить для пояснення і прогнозування поведінки об'єкта. Такі моделі орієнтовані на наступні моменти: 1) виявлення головних взаємозв'язків між підсистемами; 2) виявлення певного впливу різних чинників на стан об'єкта; 3) опис динаміки цікавлять розробника параметрів.

Формальна модель є представленням концептуальної моделі за допомогою формальних мов. До таких мов відносяться математичний апарат, алгоритмічні мови, мови моделювання.

Побудова концептуальної моделі включає наступні етапи:

- 1) визначення типу системи;
- 2) опис зовнішніх впливів;
- 3) декомпозиція системи.

- фізичне (натурне) моделювання, при якому модель і модельований об'єкт є реальні об'єкти або процеси єдиної або різної фізичної природи, причому між процесами в об'єкті-оригіналі і в моделі виконуються деякі співвідношення подібності, що випливають з схожості фізичних явищ;

- структурно-функціональне моделювання, при якому моделями є схеми (блок-схеми), графіки, креслення, діаграми, таблиці, малюнки, доповнені спеціальними правилами їх об'єднання і перетворення;

- математичне (логіко-математичне) моделювання, при якому моделювання, включаючи побудову моделі, здійснюється засобами математики і логіки; : «Математичної моделлю називається сукупність математичних співвідношень, рівнянь, нерівностей і т.п., що описують основні закономірності, притаманні досліджуваному процесу, об'єкту або системі.»

Математична модель фізичного об'єкта (системи, процесу) – це сукупність математичних співвідношень (рівнянь, формул, графічних співвідношень, нерівностей), що пов'язують вихідні характеристики стану фізичного об'єкта з вхідною інформацією, початковими даними, геометричними (просторовими та іншими) обмеженнями, що накладаються на функціонування об'єкту.

Математична модель знаходиться у певній відповідності з фізичним об'єктом і здатна замінити його з тією метою, щоб вивчення та дослідження моделі давало нову інформацію про поведінку об'єкту (механізм протікання процесів, динаміку, поведінку об'єкту як в минулому

так і в майбутньому тощо). У таблиці 1 показані види математичних моделей за різними ознаками класифікації.

Класифікація математичних моделей	
Ознаки класифікації	Види математичних моделей
1. Приналежність до ієрархічного рівня	Моделі мікрорівня Моделі макrorівня Моделі метарівня
2. Характер властивостей об'єкту, що відображаються	Структурні Функціональні
3. Спосіб представлення властивостей об'єкту	Аналітичні Алгоритмічні Імітаційні
4. Спосіб отримання моделі	Теоретичні Емпіричні
5. Особливості поведінки об'єкту	Детерміновані Імовірнісні

Математична модель може бути у вигляді схеми або формули.

Математичний опис у загальному вигляді становить систему рівнянь виду:

$$\bar{Y} = F(\bar{U}, \bar{X}, \bar{Z}).$$

Або схеми

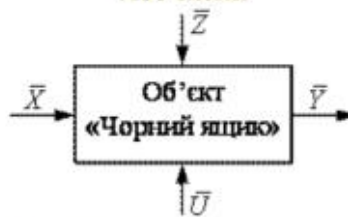


Рисунок 2.1 – Схема моделі

$\bar{X}, \bar{Z}, \bar{U}$  – вектор вхідних параметрів,  $\bar{Y}$  – вектор вихідних параметрів.

Вхідні параметри поділяються на три групи  $X$  – контрольовані, але не регулюємі параметри;  $U$  – контрольовані і регулюємі параметри (керуючі параметри);  $Z$  – неконтрольовані та нерегулюємі параметри (збурення).

- імітаційне (комп'ютерне) моделювання, при якому логіко-математична модель досліджуваного об'єкта є алгоритм функціонування об'єкта, реалізований у вигляді програмного комплексу для комп'ютера.

При імітаційному моделюванні який реалізує модель алгоритм відтворює процес функціонування системи в часі. Імітуються елементарні явища, що становлять процес, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі.

Комп'ютерне моделювання - це математичне моделювання з використанням засобів обчислювальної техніки. Відповідно, технологія комп'ютерного моделювання передбачає виконання таких дій:

- 1) визначення мети моделювання;
- 2) розробка концептуальної моделі;
- 3) формалізація моделі;
- 4) програмна реалізація моделі;
- 5) планування модельних експериментів;

- б) реалізація плану експерименту;
- 7) аналіз і інтерпретація результатів моделювання.

Пряма і зворотна задачі математичного моделювання

Традиційно виділяють два основні класи задач, пов'язаних з математичними моделями: прямі і зворотні.

Пряма задача: структура моделі і все її параметри вважаються відомими, головне завдання – провести дослідження моделі для вилучення корисного знання про об'єкт. як літак подолає звуковий бар'єр, чи не розвалиться він від флатера, - ось типові приклади прямого завдання.

Зворотна задача: відомо безліч можливих моделей, треба вибрати конкретну модель на підставі додаткових даних про об'єкт. Найчастіше, структура моделі відома, і необхідно визначити деякі невідомі параметри. Додаткова інформація може складатися в додаткових емпіричних даних, або у вимогах до об'єкта (завдання проектування). Додаткові дані можуть надходити незалежно від процесу розв'язання оберненої задачі (пасивне спостереження) або бути результатом спеціально планованого в ході рішення експерименту (активне спостереження).

Одним з перших прикладів віртуозного розв'язання оберненої задачі з максимально повним використанням доступних даних був побудований І. Ньютоном метод відновлення сил тертя за спостережуваними загасаючим коливаль.

#### **Питання для контролю знань:**

1. Поняття «модель», «моделювання».
2. Основні види моделей.
3. Основні властивості моделей.
4. Цілі моделювання.
5. Основні методи вирішення задач моделювання.
6. Класифікація моделей за областю використання.
7. Класифікація моделей за способом моделювання.
8. Класифікація моделей за призначенням.
9. Класифікація моделей за способом побудови моделі.
10. Класифікація моделей за принципом побудови.
11. Класифікація моделей за типом опису мови моделі.
12. Класифікація моделей за фактором часу.
13. Класифікація моделей за формою подання.
14. Класифікація моделей за ознакою реалізації.
15. Типи інформаційних моделей.
16. Образно-знакові моделі. Знакові моделі.
17. Фізичне (натурне) моделювання.
18. Структурно-функціональне моделювання.
19. Математичне (логіко-математичне) моделювання. Класифікація математичних моделей.
20. Імітаційне (комп'ютерне) моделювання.

21. Задачі, що пов'язаних з математичними моделями.

**Завдання для самостійної підготовки:**

I. Вивчити матеріал лекції.

II. Підготувати доповідь за темою:

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.
9. Статистичне моделювання.
10. Структурне моделювання.
11. Економіко-математичне моделювання.
12. Імітаційне моделювання.
13. Еволюційне моделювання.
14. Історичне моделювання.
15. Нечітке моделювання.
16. Модельне моделювання.
17. 3D моделювання.
18. Мова моделювання.

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 5.1. за посиланням <https://forms.gle/GUQhaVen7rd2gQkF6>

## **ЛЕКЦІЯ № 6**

### **ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ. ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ**

#### **Література:**

1. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. Суми : Сумський державний університет, 2020. 171 с.
2. Уйомов 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: навч. 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 лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з метою моделювання у сфері пожежної безпеки, основними теоретичними положеннями.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з моделювання у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **План:**

1. Принципи моделювання.
2. Технологія моделювання.

#### **Теоретична частина:**

Моделювання широко використовується в дослідженні систем різної природи, але особливого значення воно набуває в рамках методології системного підходу.

Моделювання – одна з основних категорій теорії пізнання. На ідеї моделювання, по суті, базується будь-який метод наукового дослідження. Основні види моделювання – фізичне і математичне.

Теорія пізнання (гносеологія) – розділ філософії, що вивчає природу пізнання, закономірності пізнавальної діяльності людини, її пізнавальні можливості та здібності; передумови, засоби та форми пізнання, а також відношення знання до дійсності, закони його функціонування та умови й критерії його істинності й достовірності.

Головним у теорії пізнання є питання про відношення знання про світ власне до самого світу, чи спроможна наша свідомість (мислення, відчуття, уявлення) давати адекватне відображення дійсності.

Вчення, що заперечує можливість достовірного пізнання дійсності, дістало назву агностицизм. Агностицизм як такий повністю не заперечує пізнання. Він лише стверджує, що людина може пізнати лише явища, а не сутність дійсності.

Характерною рисою розглядуваного методу є можливість відтворення моделлю відповідно до завдань дослідження тих чи інших істотних властивостей, структур досліджуваного об'єкта, взаємозв'язків і відносин між його елементами. В процесі пізнання модель іде слідом за об'єктом, будучи певною його копією, а у відтворенні, конструюванні, навпаки, об'єкт йде слідом за моделлю, копіюючи її.

Модель фіксує наявний рівень пізнання про досліджуваний об'єкт. Неможливо створити універсальну модель, котра могла б відповісти на всі запитання, що викликають інтерес; кожна з них дає лише наближений опис явища, причому в різних моделях знаходять віддзеркалення різні його властивості. До моделювання звертаються тоді, коли досліджувати реальний об'єкт з усією сукупністю його властивостей недоцільно, незручно або неможливо.

Моделювання – це метод, а модель – форма, засіб наукового пізнання. Метод моделювання володіє загальністю, оскільки змоделювати можна будь-який об'єкт: така можливість рівнозначна визнанню принципової їх пізнаваності.

### **1. Принципи моделювання.**

Моделювання - заміщення досліджуваного об'єкта (оригіналу) його умовним чином, описом або іншим об'єктом (моделлю) та пізнання властивостей оригіналу шляхом дослідження властивостей моделі.

Моделювання базується на кількох основних принципах.

**Принцип інформаційної достатності**

При повній відсутності інформації про об'єкт, що досліджується, побудова його моделі неможлива. З іншого боку, за наявності повної інформації про об'єкт побудова його моделі не має сенсу. Існує певний рівень апріорної інформації про об'єкт, при досягненні якої може бути побудована його адекватна модель.

**Принцип здійсненності**

Модель, що створюється, повинна забезпечувати досягнення поставленої мети дослідження з ймовірністю, що істотно відрізняється від нуля.

**Принцип множинності моделей**

Цей принцип є ключовим. Йдеться у тому, що створювана модель має відбивати насамперед ті властивості реальної системи, які цікавлять дослідника. Відповідно при використанні будь-якої конкретної моделі,



пізнаються лише деякі сторони реальності. Для повнішого її дослідження необхідний ряд моделей, що дозволяє з різних сторін і з різним ступенем деталізації розглянути об'єкт, що досліджується.

#### Принцип агрегування

Найчастіше складну систему можна уявити що складається з агрегатів (підсистем), для адекватного математичного описи яких виявляються придатними деякі стандартні математичні схеми.

#### Принцип параметризації

Цей принцип означає, що модель будується як відомої системи, параметри якої невідомі.

## **2. Технологія моделювання.**

Ступінь реалізації перерахованих принципів кожної конкретної моделі може бути різною. Це залежить лише від бажання дослідника, а й від дотримання ним технологій моделювання. А будь-яка технологія має на увазі певну послідовність дій.

Нині найпоширенішою технологією моделювання є комплексне моделювання, під яким розуміється математичне моделювання з допомогою засобів обчислювальної техніки. Відповідні технології комплексного моделювання представляють виконання таких дій:

1. Визначення мети моделювання.
2. Розробка концептуальної моделі.
3. Формалізація моделі.
4. Програмна реалізація моделі.
5. Планування модельних експериментів.
6. Реалізація плану експерименту.
7. Аналіз та інтерпретація результатів моделювання.

### **Питання для контролю знань:**

1. Поняття «модель», «моделювання».
2. Основні види моделей.
3. Основні властивості моделей.
4. Цілі моделювання.
5. Принципи моделювання.
6. Технологія моделювання.
7. Основні методи вирішення задач моделювання.
8. Основні джерела похибки.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Підготувати доповідь за темою:
  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.

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 6.1. за посиланням <https://forms.gle/qsZXWwoxCZ7K8isY6>

## ЛЕКЦІЯ № 7

### ВИДИ МОДЕЛЕЙ ТА ЇХНІ ВЛАСТИВОСТІ

#### 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: навч. 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 лекції:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними видами моделей та їх властивостями.
2. Розвиваюча – придбання нових знань щодо основних видів моделей та їх властивостей
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### План:

1. Класифікація видів моделей.
2. Властивості моделей.

#### Теоретична частина:

Класифікація видів моделей може бути проведена за різними підставами. За ознакою повноти можна виділити повні, неповні і наближені моделі. **Повні** моделі повинні бути повністю ідентичні досліджуваній системі, тобто, по суті, бути точною її копією. У **неповних і наближених** моделях тільки деякі сторони реальної системи (об'єкта, процесу, явища), істотні для поставленої мети дослідження, є ідентичними моделі. При цьому дослідники прагнуть до того, щоб модель адекватно відображала тільки досліджувані аспекти системи.

Залежно від форми реалізації носія моделі класифікуються на уявні і реальні. Розглянемо уявні моделі.

**Уявні моделі** застосовуються тоді, коли реальні моделі не можуть бути реалізовані в заданому інтервалі часу або відсутні умови для їх

фізичного створення. Уявні моделі є відображенням або уявою в людській свідомості, що моделюється. Залежно від необхідної глибини дослідження даний клас моделей може приймати різні види, які відображають або представляють і уявляють систему на рівні понять, суджень, умовиводів. Уявні моделі реальних систем реалізується у вигляді наочних, символічних і математичних моделей.

*Наочні моделі* відображають явища і процеси, що протікають в системі. Приклади таких моделей - навчальні плакати, малюнки, схеми, діаграми, топографічні карти і т.д.

*Символічні моделі* є деякими штучно створеними логічними об'єктами, що заміщають реальні об'єкти і виражають їх основні властивості за допомогою певної системи знаків і символів. До цього виду моделей відносяться словесні (вербальні, концептуальні) моделі, які, по суті, являють собою окремі уявні моделі, виражені в формі мови або словесної записи.

В основі словесних моделей лежить деякий тезаурус, який утворюється з набору понять досліджуваної предметної області. Під тезаурусом розуміється словник, що відображає зв'язки між словами чи іншими елементами даної мови, призначений для пошуку слів по їх змісту. Тезаурус відрізняється від звичайного словника тим, що в ньому виключена неоднозначність, тобто в ньому кожному слову відповідає лише єдине поняття, хоча в звичайному словнику одному слову може відповідати кілька понять. Якщо позначити кожне з використовуваних понять операції знаками і визначити операції між ними, то можна реалізувати знакове моделювання. Воно полягає в складанні окремих ланцюжків з понять, над якими виконуються операції об'єднання, перетину і доповнення теорії множин і математичної логіки. В результаті можна отримати опис досліджуваної реальної системи.

*Математичні моделі*, як вже зазначалося, є системи математичних символів, між якими встановлені математичні відносини, що описують властивості модельованої системи. Найбільший ефект від застосування математичних моделей може бути досягнутий в тому випадку, якщо система досить добре осмислена, попередньо вивчена і описана на вербальному рівні. Також визначено мету дослідження і доступні для вимірювання показники властивостей системи. В іншому випадку застосування математичної моделі може виявитися не корисним, а шкідливим. Вона буде відволікати увагу від головних питань дослідження до другорядних питань і зводиться до безглузлого жонглювання математичними символами. Математичні моделі можуть мати різні форми запису. Основними з них є інваріантна, аналітична і алгоритмічна.

Інваріантна форма реалізується за допомогою звичайного математичного мови. У цьому випадку модель реалізується як сукупність входів, виходів системи, змінних її стану і математичних відносин між ними.

Аналітична форма є результатом рішення вихідних рівнянь моделі. У цій формі реалізуються залежності вихідних параметрів як функцій входів і змінних стану. Для аналітичного моделювання характерно те, що в основному моделюється тільки функціональний аспект системи. При цьому ці залежності, що описують алгоритм функціонування досліджуваної системи, записуються у вигляді деяких алгебраїчних, інтегрально-диференціальних, кінченоразностного і т.д. рівнянь або логічних умов. Математично ця форма запису моделі може бути досліджена різними методами:

- власне аналітичним, тобто коли можливо отримати в загальному вигляді залежності шуканих характеристики від параметрів і змінних, що описують стану системи;

- числовим, коли відсутні методи аналітичного розв'язання математичних залежностей, закладених в моделі. Результати дослідження виходять за рахунок застосування різних числових методів розв'язання математичних залежностей, числові результати - при конкретних початкових даних;

- якісним, коли також неможливо отримати рішення в явному вигляді, а потрібно лише оцінити деякі властивості рішення (наприклад, стійкість рішення або область застосування отриманих характеристик і т.д.).

Алгоритмічна форма математичної моделі забезпечує отримання числових значень характеристик досліджуваної системи за рахунок розробки і реалізації відповідного алгоритму.

За мети моделювання слід розрізняти імітаційні (аналізують) і оптимізаційні (синтезують) моделі. **Імітаційні моделі** являють собою математичні залежності, що описують структуру і поведінку системи при різних впливах навколишнього середовища. Даний тип моделей використовується для аналізу і виявлення істотних системних властивостей, недоступних безпосередньому спостереженню, прогнозування поведінки системи в різних ситуаціях. Використання методу імітаційного моделювання дозволяє оцінювати, порівнювати і вибирати варіанти структури системи, оцінювати ефективність різних алгоритмів функціонування системи, а також вплив зміни різних параметрів системи на її вихідні характеристики. Перевагою імітаційного моделювання в порівнянні з аналітичним є можливість вирішення більш складних завдань. Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі фактори, як нелінійність характеристик елементів системи, численні випадкові впливу зі складними законами розподілу ймовірностей їх характеристик, наявність складних комбінацій дискретних і безперервних елементів і ін., Які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях.

При імітаційному моделюванні відтворюється алгоритм функціонування системи в часі, причому поетапно імітуються стану

системи, що становлять процес, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання, що дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стани процесу функціонування системи, а отже, оцінити характеристики системи. В даний час імітаційне моделювання є найбільш ефективним методом дослідження систем, а часто і єдиним практично доступним методом отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування. Як правило, імітаційні моделі реалізуються на ЕОМ, чому передують складання необхідних алгоритмів і програм, що описують поведінку систем.

Одним з найбільш часто використовуваних методів імітаційного моделювання є метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло). Цей метод полягає в багаторазовому відтворенні випадкових процесів, які формуються таким чином, щоб їх імовірнісні характеристики співпадали з аналогічними характеристиками досліджуваної системи. Після завершення експериментів отримана інформація обробляється методами математичної статистики з метою отримання оцінок необхідних характеристик.

Поряд з імітаційними моделями застосовуються так звані комбіновані моделі. Комбіновані (аналітико-імітаційне) моделі об'єднують гідності аналітичного і імітаційного моделювання. Для побудови комбінованих моделей необхідно провести попередню декомпозицію процесу функціонування системи на складові підпроцеси, і для тих з них, де це можливо, використовуються аналітичні моделі, а для інших підпроцесів будуються імітаційні моделі. Такий підхід дає можливість охопити якісно нові класи систем, які не можуть бути досліджені з використанням аналітичного або імітаційного моделювання окремо.

**Оптимізаційні моделі** являють собою математичні залежності, що забезпечують синтез найкращих відповідно до ставляться штучних систем або вибір найкращого поведінки систем в умовах різних впливів навколишнього середовища. Оптимізаційні моделі створюються на основі встановлених критеріїв ефективності систем і містять вирази, які необхідно максимізувати або мінімізувати при певних обмеженнях, що накладаються на окремі змінні, що входять в модель. Побудови оптимізаційної моделі, як правило, передують етап створення імітаційної моделі, яка описує найбільш загальні властивості синтезується системи за умови можливості варіювання окремими її показниками з метою отримання оптимального рішення. Рішення будь-якої задачі на оптимізацію найістотнішим чином пов'язано з вибором критерію оптимальності, тобто цільового функціоналу. При зміні критерію рішення може змінитися, так що не існує «оптимізації взагалі» без вказівки критерію.

В даний час розроблено велику кількість імітаційних моделей систем, доступних для практичного використання. До таких належать: VisSim, Simulink (MATLAB), System Build (MATR1XX), ПК «МВТУ», Simplorer, DV NAST, Easy 5, DASE і багато інших.

За наявності елементів випадковості моделі можуть бути детермінованими і стохастичними (ймовірними). **Детерміноване моделювання** відображає детерміновані процеси, тобто такі процеси, в яких відсутні будь-які випадкові величини і навіть випадкові процеси. При використанні детермінованих моделей стану системи однозначно визначаються через стану елементів і через показники їх властивостей. **Стохастичне моделювання** відображає імовірнісні процеси і події. В стохастичних моделях встановлюються відносини між розподілами ймовірностей станів системи і ймовірностей станів елементів і значень показників властивостей системи.

За видами описуваних процесів розрізняють безперервні і дискретні математичні моделі. **Безперервні моделі** служать для відображення безперервних процесів в системі, описують диференціюються процеси і використовують безперервні функції, системи диференціальних і інтегральних рівнянь. **Дискретні моделі** відображають систему в певний момент часу, описують процеси, стрибкоподібно змінюються через певні проміжки часу, і використовують розривні функції і різницеві рівняння.

За описуваних властивостям розрізняють статичні, динамічні і структурно-функціональні (агрегативного) моделі.

**Статичні моделі** служать для опису поведінки об'єкта в будь-якої момент часу. Ці моделі часто називають структурними. Вони відображають сукупність елементів системи, зв'язку та просторові відносини між ними, тобто структуру системи.

**Динамічні моделі** відображають поведінку об'єкта в часі.

**Структурно-функціональні моделі** описують функціонування, рух, поведінка системи, тобто процес зміни станів з плином часу з урахуванням складу і структури системи.

При розробці даних моделей виділяють безлічі можливих вхідних і вихідних впливів, а також визначають показники властивостей системи, що характеризують її стану. Потім встановлюють математичні співвідношення між вихідними і вхідними впливами з урахуванням станів системи. Дані моделі використовуються, як правило, для дослідження характеру взаємодії системи з навколишнім середовищем, а також для вибору раціональних або оптимальних показників окремих її властивостей.

Структурно-функціональні моделі, так само як і функціональні, описують функціонування системи, але з урахуванням складу елементів, внутрішніх зв'язків і взаємодій між ними. Дані моделі включають функціональні моделі елементів і опис зв'язків між ними.

Розвитком структурного моделювання є об'єктно орієнтоване моделювання. Цей вид моделювання спрямований на формалізацію побудови і дослідження структур різного типу (ієрархічних, матричних, довільних графів) на основі теоретико-множинних уявлень.

У структурному моделюванні останнім часом сформувалася нова технологія – CASE (*Computer-Aided System Engineering*), спрямована на підтримку концептуального моделювання складних систем. В цілому CASE-технологія є сукупністю методів аналізу, проектування, розробки і супроводу складних систем, підтримуваної комплексом взаємопов'язаних засобів автоматизації.

*Інформаційні моделі системи* - це сукупність інформації, що характеризує суттєві властивості і стану досліджуваної системи, її входи, виходи і дозволяє шляхом подачі на вхід моделі інформації про зміни вхідних величин системи моделювати її можливі вихідні стану. В інформаційних моделях реальна система розглядається як «чорний ящик», який мав низку входів і виходів, і моделюються зв'язку між виходами і входами. Для побудови інформаційної моделі необхідно виділити досліджувану функцію реального системи, формалізувати цю функцію у вигляді деяких операторів зв'язку між входом і виходом і відтворити цю функцію на імітаційної моделі.

*Ситуаційні моделі системи* - представляють собою опису ситуацій, в яких належить функціонувати досліджуваної системі.

Наступний великий клас складають предметні моделі - матеріальні системи, які мають схожість за деякими властивостями з моделюється системою. На відміну від словесних і знакових даних клас моделей втілюється не у вигляді слів або знаків, а в формі різних макетів або спеціальних технічних засобів.

Предметні моделі включають такі види: предметні моделі зовнішньої подібності, фізичні, аналогові і цифрові.

*Предметні моделі зовнішньої подібності* є різні статичні макети, що відображають зовнішні форми модельованих систем. До них відносяться макети будівель, транспортних засобів, скульптури, моделі атомів, молекул і т.п. Макетування застосовується, коли відбуваються в реальному об'єкті процеси не піддаються фізичному моделюванню або можуть передувати проведенню інших видів моделювання. В основі побудови уявних макетів також лежать аналогії, зазвичай базуються на причинно-наслідкових зв'язках між явищами і процесами в об'єкті.

*Фізичні моделі* представляють собою динамічні макети або природні системи, що володіють фізичним подобою, тобто зберігають повністю або хоча б в основному природу модельованої системи. Як фізичних моделей можна використовувати випробувальні стенди, тренажери, діючі макети різних технічних пристроїв і систем і т.п.

Конструювання *аналогових моделей* ґрунтується на застосуванні аналогій різних рівнів. Для досить простих об'єктів найвищим рівнем є повна аналогія. З ускладненням системи використовуються аналогії наступних рівнів, коли аналогова модель відображає кілька (або тільки одну) сторін функціонування об'єкта.



Аналогові моделі являють собою пристрої, у яких співвідношення між вхідними впливами і вихідними реакціями можуть бути описані математичними виразами, аналогічними математичним виразами, що описує такі ж співвідношення, що моделюється. При аналоговому моделюванні фізика досліджуваної системи не зберігається (на відміну від фізичних моделей), а моделювання ґрунтується на ізоморфізмі математичних співвідношень, тобто їх здатності описувати різні за своєю природою явища. Модель і моделювану систему в цьому випадку називають системами-аналогами.

**Цифрові моделі** також є в певному сенсі системи-аналоги, що фіксують і перетворюють математичні вирази, які описують моделювану систему дискретно за допомогою набору цифр за спеціальними програмами. Цифрові моделі можуть бути спеціалізованими і універсальними.

Спеціалізовані цифрові моделі призначені для опису і рішення певного виду математичних співвідношень, наприклад диференціальних рівнянь (цифрові диференційні аналізатори). Процес введення в ці моделі величин, аналогічних вхідним впливам, що моделюється, перетворення їх і отримання результатів, аналогічних вихідним реакцій, являє собою цифрове моделювання, засноване, так само як і аналогове, на ізоморфізмі явищ, які мають різну природу. В якості універсальної цифрової моделі використовується універсальна ЕОМ. Однак говорити про те, що ЕОМ - це цифрова модель, можна дуже умовно. Моделлю можна вважати ЕОМ з введеної в неї програмою перетворення відповідних змінних, що описують поведінку досліджуваної системи.

Аналогові і цифрові моделі засновані, як правило, на використанні і реалізації математичних виразів, і тому їх іноді називають математичними.

Одним з найважливіших видів моделей є натурні моделі. Як натурної моделі використовуються або вся система цілком, або її частини, при цьому в систему не вносять спеціальних змін і не створюють спеціальних установок. Натурне моделювання може проводитися як на системах, що працюють в нормальних режимах, так і при інших спеціально організованих режимах функціонування - при інших значеннях вхідної інформації, інших параметрах системи, в іншому масштабі часу і т.д. Результати натурального моделювання реєструються, обробляються і узагальнюються і потім використовуються для аналізу або синтезу як моделюється, так і інших подібних систем. Натурне моделювання забезпечує отримання найбільш достовірних результатів, але його можливості обмежені матеріальними, фінансовими, людськими, тимчасовими ресурсами, які можуть бути виділені на проведення досліджень на реальній системі. Для зменшення ступеня впливу цих обмежень і підвищення якості результатів моделювання в багатьох випадках здійснюється так зване комплексне моделювання. Суть його полягає в одночасному використанні в процесі моделювання фрагмента

реальної системи і імітаційних моделей. Імітаційна модель забезпечує можливість «доведення» системи до повного складу, дозволяє змінювати значення вхідних впливів і параметрів системи в необхідних для достовірного дослідження діапазонах.

Зазвичай розрізняють два види натурального моделювання - науковий і виробничий експеримент.

Мета *наукового експерименту* - виявлення загальних закономірностей функціонування модельованої системи, визначення меж стійкості процесів, що протікають в системі, можливість появи критичних ситуацій, функціональних залежностей параметрів і характеристик системи і т.д.

Мета *виробничого експерименту* - отримання узагальнених характеристик виробничого процесу - продуктивності, енерго- і ресурсномістке, надійності і т.д.

Основними вимогами до математичних моделей є вимоги адекватності, універсальності та економічності

## **2. Властивості моделей.**

**Адекватність.** Модель вважається адекватною, якщо відбиває задані властивості з прийнятною точністю. Точність визначається як ступінь збігу значень вихідних параметрів моделі та об'єкта. Точність моделі різна у різних умовах функціонування об'єкта. Ці умови характеризуються зовнішніми параметрами. У просторі зовнішніх параметрів виділити область адекватності моделі, де похибка менша за задану гранично допустиму похибку. Визначення області адекватності моделей — складна процедура, яка потребує великих обчислювальних витрат, які швидко ростуть зі збільшенням розмірності простору зовнішніх параметрів. Це завдання за обсягом може значно перевершувати задачу параметричної оптимізації.

**Універсальність.** Визначається в основному числом і складом зовнішніх і вихідних параметрів, що враховуються в моделі.

**Економічність.** Модель характеризується витратами обчислювальних ресурсів для її реалізації – витратами машинного часу та пам'яті.

**Простота.** Модель, при якій бажаний результат досягається за той же час з тією ж точністю при меншому обліку кількості факторів при розрахунку називається простою.

**Потенційність (передбачуваність).** Можливість отримання нових знань про об'єкт, що досліджується, за допомогою застосування моделі.

**Достатня точність результатів розв'язання задачі, надійність функціонування моделі.**

**Здатність до вдосконалення моделі без її корінної переробки.**

**Простота форм вихідних даних та їх заповнення під час видачі завдання на розрахунок.**

За допомогою моделі, що розробляється, вирішується широкий коло завдань.

### **Питання для перевірки знань:**

1. Класифікація видів моделей за ознакою повноти.
2. Наочні моделі.
3. Символічні моделі.
4. Математичні моделі.
5. Імітаційні моделі.
6. Оптимізаційні моделі.
7. Детерміновані та стохастичні моделі.
8. Безперервні та дискретні математичні моделі.
9. Динамічні моделі та статичні моделі.
10. Структурно-функціональні моделі.
11. Інформаційні моделі.
12. Ситуаційні моделі.
13. Предметні моделі.
14. Фізичні моделі.
15. Аналогові моделі.
16. Цифрові моделі.
17. Натурні моделі.
18. Мета експерименту.

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

I. Вивчити матеріал лекції.

II. Надати визначення понять: «абстрагування», «аналогія», «аналіз», «дедукція», «декомпозиція», «ідеалізація», «індукція», «синтез», «системний аналіз», «узагальнення», «формалізація».

III. Підготувати доповідь за темою:

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.

IV. Пройти тестування за темою лекції: тест 7.1. за посиланням <https://forms.gle/zgKsuudh15PTxx1m9>

## **ЛЕКЦІЯ № 8\_9**

### **СТРУКТУРА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

#### **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. Коротков Е.М. Дослідження систем управління. М.: Видавничо-консалтингова компанія «Дека», 2000.
4. Спіцнадель В.М. Основи системного аналізу: Навч.. посібник. СПб.: «Вид. дім «Бізнес-преса», 2000. С. 129.
5. Берталанфі Л. Загальна теорія систем: Огляд проблем і результатів. Системні дослідження. М., 1999. С. 30–54.
6. 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.

#### **Мета лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти зі структурою управління системою пожежної безпеки.
2. Розвиваюча – придбання нових знань за тематикою управління системою пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **План:**

1. Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту.
2. Загальні принципи функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта.
3. Основні задачі системи управління пожежною безпекою об'єкта.

#### **Теоретична частина:**

Поняття «пожежна безпека» (далі – ПБ) об'єкта має не лише технічний зміст (тобто, що це не тільки сукупність протипожежних інженернотехнічних, будівельно-архітектурних та організаційно-технічних заходів та засобів), але й певний «організаційно-управлінський зміст» із забезпечення ПБ об'єкта, який передбачає відповідні організаційно-управлінські заходи. Технічні протипожежні заходи реалізуються на об'єкті у тому числі завдяки управлінській діяльності осіб, які є суб'єктами управління ПБ об'єкта.

За результатами досліджень статистичних даних про пожежі та їхні наслідки на підприємствах, в організаціях і закладах України впродовж

останніх, визначені основні порушення, зокрема, пов'язані з: відсутністю на об'єктах інструкцій щодо порядку поводження з пожежно-небезпечними речовинами та матеріалами; організацією на об'єкті протипожежного режиму; забезпеченням нормованої, у порівнянні з фактичною, чисельності людей на об'єктах за умовами їх безпеки під час пожежі; організацією порядку зберігання речовин і матеріалів, у залежності від їх фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей; недостатнім рівнем організації навчань та проведенням інструктажів з правил ПБ працівників; низьким рівнем проведення заходів щодо порядку дій на випадок виникнення пожеж та евакуації людей; неефективністю використання протипожежної техніки під час гасіння пожеж; відсутністю паспортизації речовин, матеріалів, виробів, будівель і споруд у частині забезпечення ПБ; низьким рівнем застосування засобів наочної агітації із забезпечення ПБ.

У результаті проведеного аналізу вітчизняної та закордонної законодавчої бази, нормативно-правових та нормативних актів щодо організаційно-управлінської діяльності суб'єктів управління ПБ об'єктів захисту встановлені такі терміни та визначення понять:

– суб'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту – посадові особи органів виконавчої влади, посадові особи органів місцевого самоврядування, відповідальні за пожежну безпеку об'єкта захисту, а також суб'єкти господарювання (власники або керівники цих суб'єктів господарювання, або орендарі об'єкта захисту згідно з цивільноправовим договором), посадові особи, призначені відповідальними за пожежну безпеку об'єкта захисту;

– об'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту – діяльність осіб, які перебувають на об'єкті захисту;

– управлінські заходи щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту – сукупність управлінських заходів, спрямованих на виконання технічних вимог, передбачених системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та забезпечення протипожежного режиму на об'єкті захисту;

– управління пожежною безпекою об'єкта захисту – процес впливу суб'єкта управління пожежною безпекою на діяльність осіб, які перебувають на об'єкті захисту для забезпечення відсутності на цьому об'єкті неприпустимого ризику виникнення та розвитку пожежі;

– оцінювання протипожежного стану об'єкта захисту – оцінювання об'єкта захисту щодо реалізації встановлених вимог пожежної безпеки, яке охоплює етапи обстеження та аналізування.

Діяльність із забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб та інших осіб, які перебувають на об'єкті захисту.

Організаційна структура системи управління пожежною безпекою повинна базуватися на наявній на об'єкті захисту організаційно-штатній структурі управління виробничою та іншою діяльністю.

На об'єкті захисту повинна створюватись відповідна організаційна структура СУПБ залежно від його особливостей щодо: існуючої організаційно-штатної структури управління виробничою та іншою діяльністю; функціонального призначення об'єкта; кількості осіб, які працюють та/або перебувають на об'єкті; категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою; пожежної небезпеки технологічних процесів на об'єкті; пожежної небезпеки речовин та матеріалів, які використовують на об'єкті тощо.

### **1. Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту.**

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.

Пожежна безпека об'єкта захисту повинна забезпечуватись системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та системою управління пожежною безпекою об'єкта. Пожежна безпека об'єкта характеризується рівнем пожежної безпеки людей (запобігання впливу на них небезпечних чинників пожежі) та/або матеріальних цінностей, а також економічним ефектом витрат на її забезпечення, і повинна виконувати одну з таких задач:

- мінімізувати ймовірність виникнення пожежі;
- забезпечувати пожежну безпеку людей;
- забезпечувати пожежну безпеку матеріальних цінностей;
- забезпечувати пожежну безпеку людей і матеріальних цінностей одночасно.

Протипожежний захист об'єкта повинен досягатися одним із таких способів або їх комбінацією:

- забезпеченням евакуації людей;
- застосуванням відповідних систем протипожежного захисту та пожежних машин;
- застосуванням внутрішнього протипожежного водопроводу та зовнішнього протипожежного водопостачання;
- застосуванням первинних засобів пожежогасіння;
- забезпеченням обмеження поширення пожежі;
- застосуванням засобів колективного та індивідуального захисту;
- забезпеченням обслуговуванням об'єкта захисту пожежно-рятувальними підрозділами;
- забезпеченням безпеки пожежно-рятувальних підрозділів.

## **2. Загальні принципи функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта:**

– принцип системності – передбачає, що управління пожежною безпекою об'єкта повинно охоплювати всі складові системи запобігання пожежі та комплексу протипожежного захисту, мати узгодженість між складовими, постійний та упорядкований характер;

– принцип запобігання – передбачає, що діяльність має носити попереджувальний характер, спрямований на своєчасне виявлення та усунення чинників, що можуть призвести до пожежі шляхом проведення профілактичної роботи;

– принцип колективізму – передбачає участь працівників в роботі із забезпечення пожежної безпеки;

– принцип інформованості – передбачає, що здійснення заходів з пожежної безпеки ґрунтується на максимальній інформованості кожного працівника про негативні чинники пожежі;

– принцип адекватності – передбачає відповідність заходів із забезпечення пожежної безпеки реальним та потенційним загрозам;

– принцип відповідальності – передбачає усвідомлення кожним працівником його відповідальності за дотримання вимог пожежної безпеки.

Основною метою системи управління пожежною безпекою об'єкта є створення умов для запобігання виникнення та розвитку пожежі, а також впливу на людей та майно небезпечних чинників пожежі.

Функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта забезпечується:

- формуванням структури управління пожежною безпекою об'єкта;
- аналізуванню стану пожежної безпеки об'єкта;
- проведенню пожежно-профілактичної роботи;
- дослідженням та обліком пожеж;
- оцінкою індивідуального пожежного ризику та/або ризику виникнення пожежі;
- розробленням нормативних документів;
- плануванням і фінансуванням заходів щодо забезпеченню пожежної безпеки об'єкта.

## **3. Основні задачі системи управління пожежною безпекою об'єкта**

Основними задачами системи управління пожежною безпекою об'єкта є:

– організація роботи щодо забезпечення функціонування системи запобігання пожежі;

– організація роботи щодо забезпечення функціонування комплексу протипожежного захисту;

– розробка та реалізація організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.

Організаційні заходи повинні охоплювати:

– створення пожежної охорони та/або призначення відповідальних за пожежну безпеку на об'єкті захисту;

– підтримання експлуатаційної придатності систем протипожежного захисту;

– встановлення в технічній документації на речовини, матеріали, вироби, технологічні процеси, будівлі і споруди об'єктів вимог щодо забезпечення пожежної безпеки;

– організацію навчання людей правилам пожежної безпеки;

– розробку і реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій, про дотримання протипожежного режиму та дій людей при виникненні пожежі;

– виготовлення і застосування засобів наочної агітації щодо забезпечення пожежної безпеки;

– забезпечення порядку зберігання речовин і матеріалів, залежно від їх фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей;

– нормування чисельності людей на об'єкті за умовами безпеки їх під час пожежі;

– розробку заходів щодо дій на випадок виникнення пожежі та організації евакуації людей;

– визначення основних видів, кількості, розміщення та обслуговування протипожежної техніки на об'єкті.



## СТРУКТУРНА СХЕМА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА



Організаційна структура системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту в залежності від його особливостей може складатися з:

- індивідуальних суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту (власників або керівників суб'єктів господарювання, або орендарів об'єкта захисту, що визначено умовами договору оренди, або посадових осіб, призначених розпорядчим документом, які відповідають за певний напрям забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту);

- індивідуальних та колективних (колегіальних) суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту (служби пожежної безпеки, комісії з питань надзвичайних ситуацій, підрозділів відомчої, місцевої або добровільної пожежної охорони). Загальну схему організаційної структури системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту наведено на рисунку 2.

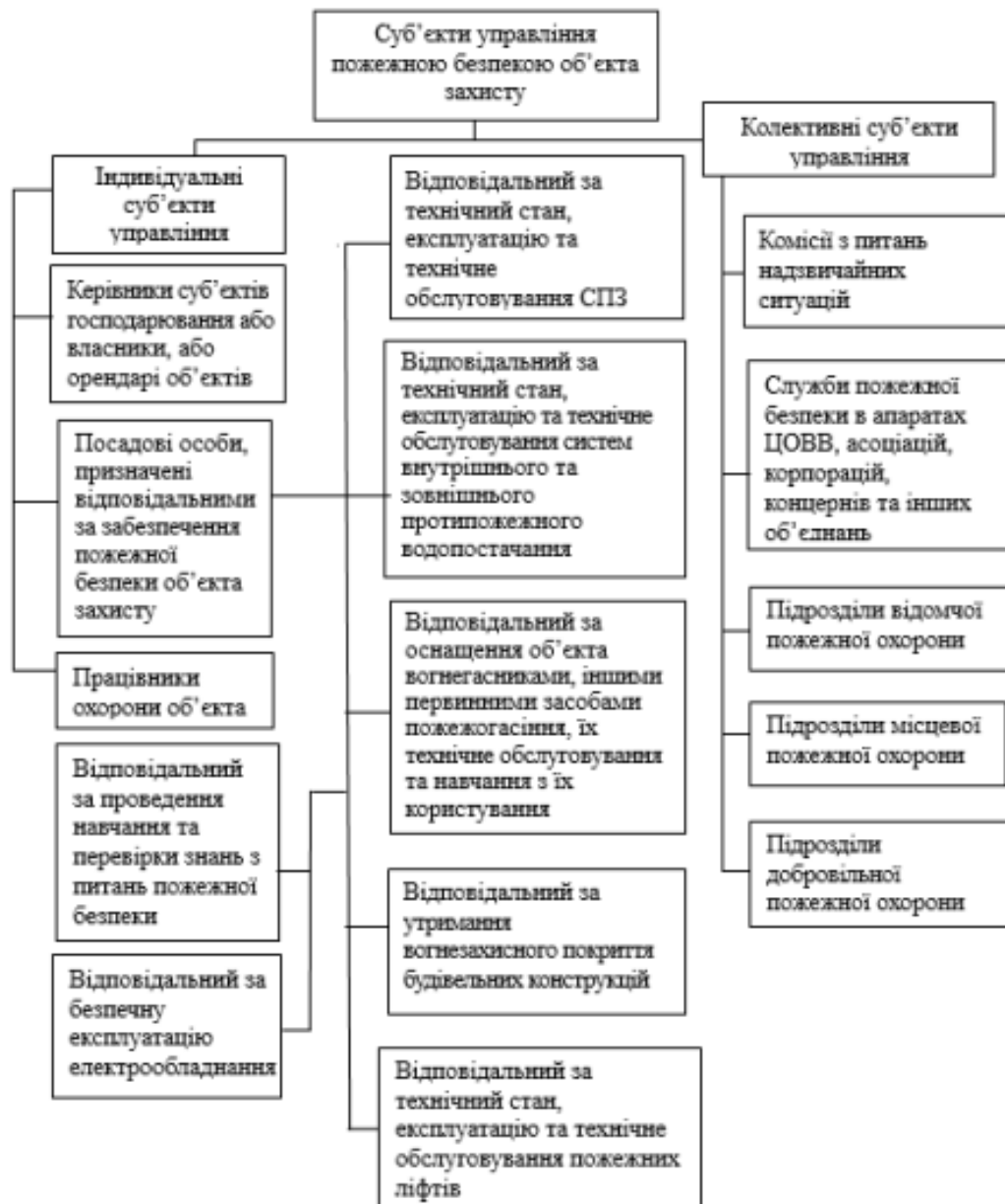


Рисунок 2 – Загальна схема організаційної структури СУПБ об'єкта захисту

Крім того, системи управління пожежною безпекою передбачає встановлення на об'єкті захисту відповідних правових та організаційних норм, а саме:

- рівнів відповідальності кожної посадової особи суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- розподілу обов'язків та повноважень між посадовими особами суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- забезпечення необхідного рівня компетенції та кваліфікації посадових осіб суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- визначення певного алгоритму управління (технології управління) ПБ об'єкта захисту, тобто забезпечення спільних дій структурних елементів системи управління пожежною безпекою;

– забезпечення суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту необхідними нормативними документами у сфері пожежної безпеки (стандартів, будівельних норм, інструкцій, положень, правил тощо) та розпорядчих документів;

– створення умов матеріального та морального стимулювання посадових осіб системи управління пожежною безпекою для активізації їхньої діяльності та заохочення щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту.

Функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту має бути забезпечене:

– формуванням організаційної структури системи управління пожежною безпекою;

– обстеженням стану ПБ об'єкта захисту суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту або суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію;

– передаванням інформації щодо стану ПБ об'єкта захисту суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію, суб'єкту управління ПБ, який приймає відповідні управлінські рішення;

– аналізуванням та оцінюванням протипожежного стану об'єкта захисту суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту або суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію;

– прийняттям суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту відповідних управлінських рішень (заходів) та організацією фінансування заходів щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту;

– здійсненням управлінського впливу суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту на об'єкт управління, тобто організацією виконання запланованих управлінських рішень (заходів) щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту, а також контролем за їхнім виконанням;

– здійсненням взаємодії суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту з зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ цього об'єкта.

Загальну схему функціонування системи управління ПБ об'єкта захисту наведено на рисунку 3.

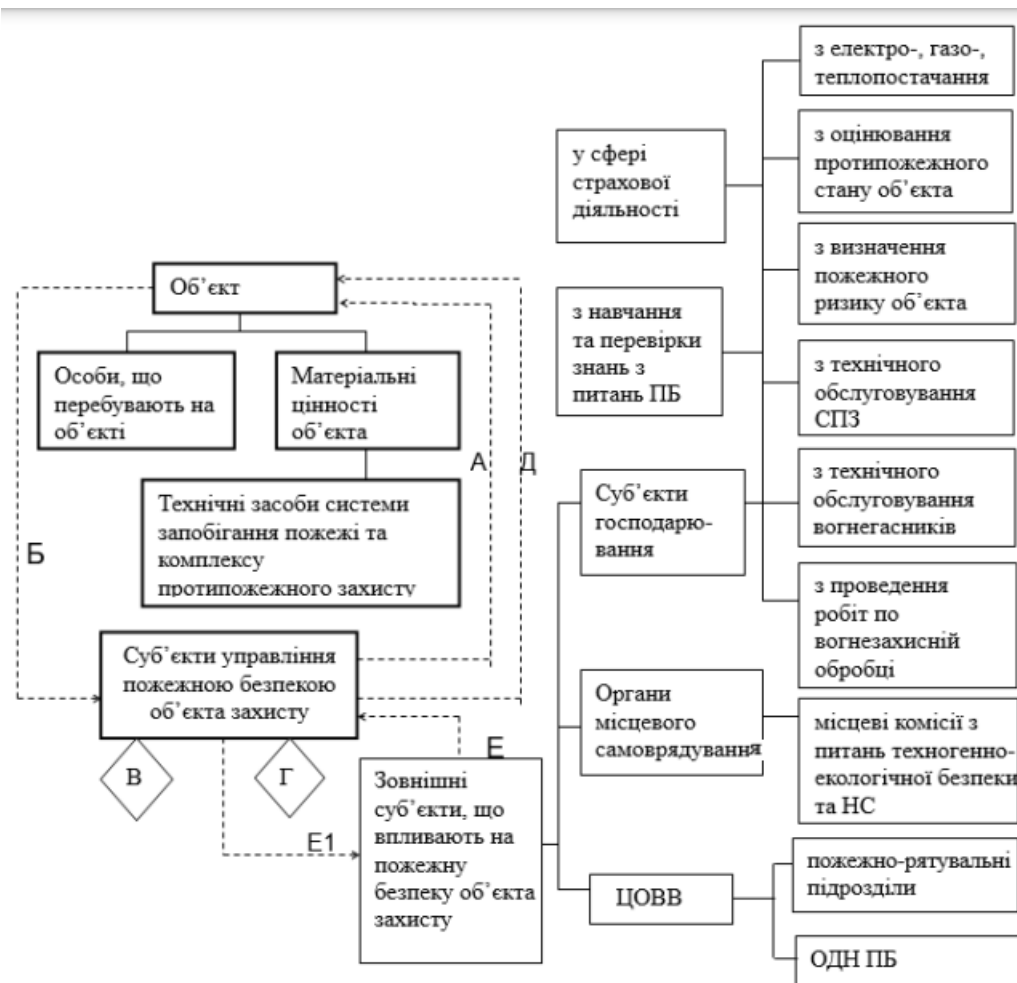


Рисунок 3 – Загальна схема функціонування системи управління пожежною безпекою.

Умовні позначки: етап А – обстеження протипожежного стану об'єкта захисту; етап Б – передавання інформації суб'єкту управління щодо протипожежного стану об'єкта захисту; етап В – аналізування та оцінювання протипожежного стану об'єкта захисту; етап Г – прийняття управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту; етап Д – організація виконання запланованих управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту та контролювання їх виконання; етапи Е та Е1 – спільні дії із зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ об'єкта захисту.

Обстеження стану ПБ об'єкта захисту (етап А) щодо ідентифікації пожежних небезпек та можливості реалізації потенційних загроз виникнення та розвитку пожежі є процесом отримання необхідної інформації для прийняття відповідних управлінських рішень.

Управління ПБ об'єкта захисту має здійснюватися за наявності повної, своєчасної й правдивої інформації про стан пожежної безпеки (етап Б). Одержання такої інформації суб'єктом управління ПБ, виявлення відхилень від норм і правил пожежної безпеки, а також перевірка виконання попередніх

планів, приписів і управлінських рішень здійснюються на основі регулярного та об'єктивного контролю.

Аналізування та оцінювання стану ПБ об'єкта (етап В), у тому числі з оцінювання пожежного ризику, здійснюється на основі інформації, отриманої під час обстеження стану ПБ, а також її аналізування, шляхом визначення відповідності стану ПБ об'єкту вимогам нормативно-правових та нормативних документів у сфері пожежної безпеки.

На основі даних щодо оцінювання стану ПБ об'єкта захисту суб'єкт управління приймає управлінські рішення (етап Г).

Наступним етапом процесу управління ПБ об'єкта захисту є здійснення суб'єктом управління ПБ управлінського впливу на об'єкт управління (етап Д), тобто організація виконання запланованих управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту та контролювання їх виконання.

Організація виконання управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту здійснюється шляхом комунікації, тобто передачі інформації від суб'єкта управління до особи, яка повинна виконати це рішення.

Для ефективного функціонування системи управління ПБ об'єкту захисту має бути організована, на плановій основі, взаємодія з зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ об'єкту захисту (етапи Е та Е1).

#### **Питання для контролю знань:**

1. Суб'єкт та об'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту.
2. Визначення поняття «система управління пожежною безпекою об'єкта 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. Організаційна структура системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту.
12. Правові та організаційні норми системи управління пожежною безпекою
13. Способи досягнення протипожежного захисту.

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

I. Вивчити матеріал лекції.

II. Підготувати доповідь за темою:

1. Математична інтегральна модель газообміну в будівлі під час пожежі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».

2. Математична двозонна модель пожежі в будівлі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».

3. Польовий метод моделювання пожежі в будівлі. ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 8.1. за посиланням <https://forms.gle/694ggKvupSzR48WL9>, 9.1. за посиланням <https://forms.gle/wRRPMV8nGAc7fYRi8>

## **ЛЕКЦІЯ № 10**

### **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПОЖЕЖІ**

Література:

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.

**Мета лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з розрахунками небезпечних факторів пожежі, визначення осередків пожежі.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з розрахунків небезпечних факторів пожежі, визначення осередків пожежі.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

**План:**

1. Зони розвитку пожежі.
2. Метод установавлення осередку пожежі по площі пожежі.
3. Метод установавлення осередку виникнення пожежі з використанням конфігурації зон пожежі.
4. Метод встановлення осередку пожежі за допомогою ультразвукових хвиль.
5. Метод визначення осередку пожежі по дослідженню обвуглених залишків деревини і ДСП. Добір проб обвуглених залишків деревини і ДСП на місці пожежі.

**Теоретична частина:**

#### **1. Зони розвитку пожежі.**

У результаті горіння, що відбуває на пожежі, матеріали, конструкції, устаткування й окремі предмети, що знаходяться в зоні дії високої температури, перетерплюють різні руйнування, деформації або знищуються повністю - згоряють.

Місце, де відбулася пожежа, являє собою з першого погляду "хаос". Однак, кожний з певних слідів впливу вогню і температури можна віднести до визначеної зони пожежі.

Розрізняють три зони розвитку пожежі: горіння, теплового впливу і задимлення.

Зона горіння - це частина простору, у якому відбувається горіння підготовлених і попереднє перемішаних продуктів розкладання твердих горючих матеріалів (ТПМ), парів горючих рідин або газів. Зона горіння - це ділянка простору, у якому відбувається термічне розкладання горючих

речовин і окислювання продуктів їхнього розкладання до CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O і т.і., що не суперечить, а лише трохи доповнює перше визначення.

Зона горіння включає об'єм парів і газів, обмежених тонким шаром полум'я і поверхнею палаючих речовин і матеріалів, з яким продукти розкладання у виді парів і газів надходять у цю зону. З урахуванням характеру розвитку пожежі, конструктивно-планувального виконання приміщення зона горіння може обмежуватися його розмірами або розмірами огорожень, стінками резервуара, об'ємом апаратів і т.і. Параметром зони горіння, тобто її характеристикою, є поверхня горіння, що представляє тонкий світлий шар полум'я. На практиці цей параметр представляють трохи спрощено і під поверхнею горіння мають на увазі поверхні рідких і твердих речовин і матеріалів, з яких виділяються в зону горіння продукти розкладання і випари.

Можна також виділити три ділянки зони горіння:

- малого, незначного руйнування предметів і конструкцій;
- середнього руйнування предметів і конструкцій;
- максимальної поразки предметів і конструкцій.

Результатом хімічних перетворень, що відбуваються в зоні горіння, є утворення продуктів згоряння і виділення теплоти. Виділена з зони горіння теплота сприяє переміщенню фронту горіння на нову підготовлену ділянку, а на ділянці, де спочатку виникає горіння під впливом високої температури, піролізу, вигоряння ТПМ, відбувається інтенсивний процес слідоутворення характерних ознак, властивих тільки для зони горіння. До числа таких ознак відносяться: повне вигоряння твердих горючих матеріалів, наскрізні прогари, глибоке обвуглення, температурні деформації неспалимих конструктивних елементів будинків, обвалення конструкцій, відшарування захисного шару, утворення тріщин і т. п. Перераховані ознаки зони горіння залишаються і після ліквідації пожежі, але вони можуть бути трохи видозміненими під впливом вогнегасячих засобів і дій особового складу підрозділів, що беруть участь у її гасінні. Тому при огляді місця пожежі необхідно звертати увагу на сліди, що утворилися в зоні горіння, і сліди руйнувань, викликані безпосередньою дією вогнегасячих засобів і особовим складом пожежних підрозділів, уміти розрізняти ці сліди.

Продукти згоряння, що утворюються в зоні горіння, являють багатокомпонентну суміш газоподібних, рідких і твердих речовин, які утворюють якийсь надлишковий тиск. Під дією надлишкового тиску продукти згоряння (дим) поширюються з зони горіння по об'єму приміщення, у якому виникла пожежа. Через різницю температур у зоні горіння по висоті і на деякому видаленні від неї розпечені частки вуглецю (тверда складового диму), остигаючи й осаджуючись на вертикальних і горизонтальних поверхнях, утворюють кіптяву (змінюють первісне фарбування поверхонь у чорний або темно-коричневий колір).



Кіптява на поверхнях конструкцій, устаткування і матеріалах може залишитися тільки при визначеній критичній температурі тієї або іншої ділянки, що складає 600-630°C. Тому там, де температура зони горіння була вище зазначених величин, тверді частки диму (вуглець), що осіли, вигорають і утворюють білі плями або площі, а навколо них, де температура була нижче 600°C, поверхня має чорний або темно-коричневий кольори, тобто закопчена. Білі (світлі) плями на площі закопченої поверхні в окремих випадках повинні прийматися в увагу експертом як одна з характерних ознак, що вказують на можливий осередок первісного розвитку горіння, тобто пожежі.

У залежності від виду пожежного навантаження (його здатності горіти в першій фазі або на твердій поверхні), форма і розмір зони горіння можуть мати виражену границю. При горінні на твердій поверхні (тлінні), форма горіння яскраво виражена, і вона обмежується обсягом цілком або частково вигорілого пожежного навантаження. Здатністю до безполум'яного горіння володіють кам'яне (кокс) і деревне вугілля, а також усі тліючі матеріали, наприклад, бавовна в стосах, сіно, солома (особливо при виникненні горіння усередині скирти) і інші матеріали, що знаходяться в несприятливих для горіння по газообміні умовах.

Наявність ознак повного або часткового вигорання пожежного навантаження, виявлених при огляді місця пожежі, повинно прийматися в увагу експертом при визначенні осередку виникнення пожежі.

Надалі варто мати на увазі, що основні осередкові ознаки під час пожежі формуються саме зоною горіння.

Від впливу крапкового джерела запалювання на пальному матеріалі утворюється зона горіння, що спочатку має форму, наближену до форми кулі. З часом вона збільшується і на її форму починає впливати гравітаційне поле землі. У результаті його впливу над крапкою загорання утворюється конвективний стовпчик газоподібних продуктів горіння. Наявність конвективного потоку і його вплив на зміну зони горіння можна пояснити різними швидкостями розповсюдження зони горіння в різних напрямках, а саме:

- униз - швидкість поширення найменша;
- по горизонталі - швидкість значно більша;
- нагору - швидкість на кілька порядків більша.

Розходження швидкостей пояснюється наявністю підходящого до зони горіння "свіжого" холодного повітря, що, нагріваючись, відбирає тепло, знижуючи прогрів горючих матеріалів. Тим самим холодне повітря знижує швидкість поширення фронту зони горіння в її нижній частині і переміщає її у верхню частину зони горіння, активізуючи горіння в ній. У цей момент форма зони горіння в розрізі буде каплеподібного виду.

На певний момент часу зона горіння досягне поверхні стелі і буде під його впливом розтікатися в сторони від епіцентру осередку пожежі. При цьому форма зони горіння буде мати вигляд переверненого конуса або

лійки, межі якої надалі опустяться до підлоги. Слідом за цим зона горіння заповнить весь об'єм приміщення.

При розвитку пожежі і ліквідації її на тій або іншій стадії осередок пожежі може бути встановлений по характерних обрисах, залишених зоною горіння. Розвиток зони горіння в просторі сприяє формуванню слідів спрямованості поширення горіння, по яких можна судити про спрямованість поширення фронту горіння і, в остаточному підсумку, про місце осередку пожежі.

Зона теплового впливу являє собою частину простору, що примикає до зони горіння й у якій за рахунок теплового впливу зони горіння випромінюванням, конвекцією, теплопровідністю відбуваються помітні неозброєним оком людини необоротні зміни первісного стану поверхонь конструкцій., устаткування і матеріалів, по яких можна визначити межі зони теплового впливу. З'являються зміни первісного теплового фарбування поверхонь до ясно-коричневого тону, спучування фарби і т.і. У цій зоні також температура підвищується від температури навколишнього середовища до температури запалення речовин і матеріалів, при цьому теплопоглинання в ній перевищує тепловиділення.

При наявності в межах цієї зони пожежного навантаження відбувається її підготовка до горіння і створюється реальна можливість подальшого поширення пожежі, тобто переміщення зони горіння на нову ділянку.

Проекцію зони теплового впливу на горизонтальну площину називають площею теплового впливу. Форма і розміри цієї зони визначаються формою і розмірами зони горіння, що, у свою чергу, визначається характером розподілу пожежного навантаження, умовами газообміну на пожежі, спрямованістю поширення горіння.

При розвитку пожеж усередині будинків слідоутворення зони теплового впливу на конструкціях, технологічному устаткуванні, сировині і готовій продукції відбувається за рахунок конвекції, випромінювання, теплопровідності. На ділянках поза будинком, але при розвитку пожежі усередині його, слідоутворення другої зони відбувається за рахунок випромінювання через прорізи в конструкціях, що обгороджують, по проекції площі цих прорізів, а на поверхнях вище прорізів - конвекції, тобто впливу нагрітих до високої температури продуктів згорання.

При пожежах на відкритих просторах слідоутворення другої зони відбувається за рахунок конвекції і випромінювання. Теплопровідність на таких пожежах на слідоутворення другої зони впливає слабо.

Теплопровідність може бути істотною у випадках контактування пожежного навантаження з металевими предметами, трубами, окремі ділянки яких знаходяться в зоні горіння, а інші на видаленні від неї або ізольовані екранами, перегородками, стінами. Такий спосіб передачі тепла на пожежне навантаження сприяє впливові джерела високої температури на нього. Сліди впливу теплової зони при локальному джерелі теплової

енергії формуються від місця контактування металевих предметів, трубопроводів і пожежного навантаження.

Добре знаючи характерні сліди зони теплового впливу при випромінюванні, конвекції і теплопровідності, експерт або особа, що провадить дізнання при огляді місця події (пожарища), порівняно просто може відновити її форму, розміри і надалі застосувати їх для визначення осередку виникнення пожежі.

Зоною задимлення називають частину простору, що прилягає до зони горіння, у якій неможливе перебування людей без індивідуальних або групових засобів захисту органів дихання й у якій утруднюються дії особового складу пожежних підрозділів через недостатню видимість і негативну дію на організм людини продуктів згоряння. Зона задимлення на деяких пожежах містить у собі всю зону або частину зони теплового впливу. У цій зоні температура істотно не міняється, але в неї проникають продукти горіння.

Характерною ознакою, за якою визначається форма і розміри задимлення після пожежі, є наявність на вертикальних і горизонтальних поверхнях конструкцій, технологічному устаткуванні і матеріальних цінностях відкладень твердих часток диму, що, не змінюючи первісне фарбування поверхонь, додають їм своєрідний специфічний відтінок. Границею зони задимлення при цьому буде відсутність за нею специфічного відтінку, а отже, відсутність відкладень часток диму.

Дим супроводжує горіння на пожежах, особливо на першопочатковій стадії пожежі, що розвивається, у межах одного приміщення, коли вона має розміри менше, ніж розміри самого приміщення. Першою характерною ознакою, за якою очевидці найчастіше виявляють пожежі, є клуби диму, що виходять через віконні, дверні й інші прорізи. Тому дуже важливо фіксувати показання цих очевидців (свідків) щодо місця виявлення виходу диму, його інтенсивності, розмірів та меж виходу по периметру будівлі або його частки. Показання свідків та очевидців відносно місця, інтенсивності і розмірів межі виходу диму можуть бути використані експертом при дослідженні і визначенні осередку виникнення пожежі.

ДИМ при горінні різного пожежного навантаження має свої відмінні ознаки за запахом, щільністю і кольором. Це також може бути використано експертом при дослідженні осередку пожежі, тому що, знаючи розподіл пожежного навантаження по його видах на об'єкті, де виникла пожежа, можна дати якісну оцінку за запахом диму приналежності продуктів горіння відповідному виду пального матеріалу.

## **2. Метод установлення осередку пожежі по площі пожежі.**

Даний метод є одним з перших, які стали застосовуватися для установлення осередку виникнення пожежі. Взятий він з тактики гасіння пожеж.

Основним параметром, на якому базується даний метод, є площа пожежі. Площею пожежі називається площа проекції зони горіння на горизонтальну чи вертикальну площину.

Форма площі пожежі залежить від місця виникнення пожежі в приміщенні (у центрі, у куті, поблизу стіни будинку і т.і.) і часу. З часом форма площі пожежі може змінюватися; наприклад, із кругової переходити в прямокутну.

При круговому розвитку пожежі і часу поширення до 10 хвилин площа пожежі обчислюється за формулою:

$$S_{\text{п}} = \pi \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ж}} \cdot t_1)^2, \quad (1)$$

де  $t_1 \leq 10$  хв;

$$V_{\text{ж}} = 0,5 V_{\text{ж}}^{\text{табл}}. \quad (2)$$

Вираження в дужках є не що інше, як радіус пожежі:

$$R_{\text{п}} = 0,5 V_{\text{ж}} \cdot t_1. \quad (3)$$

При часі поширення пожежі більш 10 хвилин до моменту введення перших стволів на гасіння пожежі, площа пожежі і його радіус розраховуються відповідно до формул:

$$S_{\text{п}} = \pi \cdot (5V_{\text{ж}} + V_{\text{ж}} \cdot t_2)^2, \quad (4)$$

$$R_{\text{п}} = 5V_{\text{ж}} + V_{\text{ж}} \cdot t_2, \quad (5)$$

де  $t_2 = t - 10$ .

При обмеженні поширення пожежі стінами приміщення, площа пожежі буде приймати форму півкола чи сектора при загорянні однієї зі стін чи у куті приміщення. Тоді розрахункові формули будуть виглядати таким чином:

$$S_{\text{п}} = \pi/2 \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ж}} \cdot t_1)^2; t_1 \leq 10 \text{ хв}, \quad (6)$$

$$S_{\text{п}} = \pi/2 \cdot (5V_{\text{ж}} + V_{\text{ж}} \cdot t_2)^2; t_1 \geq 10 \text{ хв}, \quad (7)$$

$$S_{\text{п}} = \pi/4 \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ж}} \cdot t_1)^2; t_1 \leq 10 \text{ хв}, \quad (8)$$

$$S_{\text{п}} = \pi/4 \cdot (5V_{\text{ж}} + V_{\text{ж}} \cdot t_2)^2; t_1 \geq 10 \text{ хв}, \quad (9)$$

У приміщеннях, у яких довжина в кілька разів перевищує ширину, наприклад, у коридорах готельних комплексів і т.і., пожежа тільки на самій ранній стадії буде мати кругову форму, а потім переходить у прямокутну. У залежності від місця виникнення, пожежа буде поширюватися в одному напрямку чи в декількох одночасно.

При цьому розрахункові формули будуть мати наступний вид:

$$S_{\text{п}} = \pi x \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ж}} \cdot t_1)^2; t_1 \leq 10 \text{ хв}, \quad (10)$$

$$S_{\text{п}} = \pi x \cdot (5V_{\text{ж}} + V_{\text{ж}} \cdot t_2)^2; t_1 \geq 10 \text{ хв}. \quad (11)$$

З моменту введення перших стволів і до моменту локалізації пожежі - значення лінійної швидкості в розрахунках приймається рівним 50% табличного значення, тобто

$$V_z = 0,5V_z^{\text{табл}} \quad (12)$$

У цьому випадку розрахунок площі пожежі здійснюється за наступними формулами:

$$S_n = \pi \cdot (5V_z + V_z \cdot t_2 + 0,5V_z \cdot t_3)^2, \quad (13)$$

- круговий розвиток;

$$S_n = \pi/2 \cdot (5V_z + V_z \cdot t_2 + 0,5V_z \cdot t_3)^2, \quad (14)$$

- напівкруговий розвиток;

$$S_n = \pi/4 \cdot (5V_z + V_z \cdot t_2 + 0,5V_z \cdot t_3)^2, \quad (15)$$

- кутовий розвиток;

$$S_n = \pi \alpha \cdot (5V_z + V_z \cdot t_2 + 0,5V_z \cdot t_3)^2, \quad (16)$$

- прямокутний розвиток;

де  $t_3 = t_T - t_{\text{ВВ}}$ ;  $t_T$  - сучасний момент часу;

$t_{\text{ВВ}}$  - час уведення перших стволів на гасіння;

$t_3 = t_{\text{лок}} - t_{\text{ВВ}}$ ;  $t_{\text{лок}}$  - час локалізації пожежі, хв.

Так, вичертивши схему пожежі і відобразивши на ній площу розвитку пожежі, указавши напрямок поширення горіння, можна, з достатньою часткою імовірності указати проекцію осередкової зони на площину. По приведеним вище формулам (з урахуванням лінійної швидкості поширення вогню і часових показників) можна вирахувати параметри проекції осередкової зони на горизонтальну або вертикальну площину, що варто назвати осередковою площею і, більш того, указати місце її розташування.

Так, визначивши проекцію осередкової зони на площину, набагато швидше і легше можна знайти осередок виникнення пожежі.

Слід однак помітити, що даний метод виявляється діючим тільки в тому випадку, коли осередок пожежі приблизно розташований на горизонтальній або вертикальній площині, тобто попадає в осередкову площу. Якщо ж осередок пожежі характеризується просторовими характеристиками, то варто використовувати метод його встановлення, розглянутий нижче.

### **3. Метод встановлення осередку виникнення пожежі з використанням конфігурації зон пожежі.**

Пожежа як явище має свої просторові характеристики - форму і розміри. Форма пожежі може бути приведена до відповідної геометричної фігури: кола, еліпса, півкола, прямокутника (до фігур на площині) чи кулі, конусу, циліндру (до об'ємних фігур) і т.і.

Кожна з перерахованих геометричних фігур має свій центр, визначення якого засноване на відомих з курсу геометрії способах і

прийомах. На цьому ґрунтується запропонований метод визначення осередку виникнення пожежі за зонами його розвитку.

При визначенні границь розвитку зон горіння і теплового впливу, необхідно враховувати умови газообміну, наявність відкритих дверних, віконних і технологічних прорізів, а також систем приточної і витяжної вентиляції.

Для графічної побудови можливої зони виникнення пожежі необхідно у відповідному масштабі побудувати план приміщення, у якому відбулася пожежа, і нанести координатну сітку. Координатну сітку плану приміщення прив'язують до плану колон. На плані приміщення вичерчують форму і границі зон горіння і теплового впливу. Після виконання даної дії приступають до геометричної побудови можливої зони виникнення пожежі. Побудова цієї зони здійснюється в наступній послідовності.

Вибирають довільні точки по периметру зони теплового впливу чи зони горіння. Кількість обраних точок визначають у кожному конкретному випадку з урахуванням форми зон горіння чи теплового впливу.

Для випадків, коли форма цих зон близька до кола, число обраних точок повинне бути не менш 5, а при формі, близької до еліпса, - не менш 10. Тут варто мати на увазі, що чим більше точок вибирають, тим точніше буде побудова можливої зони виникнення горіння.

Через довільно обрані точки проводять дотичні і перпендикуляри до них. Перпендикуляри проводять до взаємного перетинання один з одним усередині відповідної зони пожежі.

Точки взаємного перетинання перпендикуляра один з одним нумерують чи позначають відповідними буквами. Далі ці точки з'єднують ламаною лінією. Площина, обмежена ламаною лінією, указує на ділянку можливої зони виникнення пожежі.

Після визначення границь можливої зони виникнення пожежі роблять прив'язку даної ділянки до координатної сітки об'єкта, де виникла пожежа. Приступають до більш ретельного дослідження виділеного району з метою виявлення речових доказів, що вказують на причину пожежі, і визначення точного місця його виникнення.

Викладені принципи визначення центра різних геометричних фігур можуть застосовуватися як на стадії експертного і слідчого огляду місця пожежі, так і в процесі виробництва пожежно-технічної експертизи за матеріалами кримінальних справ. Правомірність використання даного методу визначення осередку виникнення пожежі доведена експериментально.

При формах зон розвитку пожежі, близьких до кола, відсоток відхилення дійсного місця первісного крапкового впливу джерела запалювання від визначеного геометричною побудовою по границях зон розвитку пожежі і координатних осей X і Y не перевищує 10-15 %, але у всіх випадках крапка первісного впливу джерела запалювання лежить у

зоні фігури, обкресленої через точки взаємного перетинання перпендикулярів.

Для форм зон розвитку пожежі, близьких до прямокутної, крапка первісного впливу джерела запалювання знаходиться в межах окружності з радіусом, рівним половині ширини прямокутника, проведеного з геометричного центра даної фігури. При формах зон розвитку пожежі, близьких до еліпса, крапка первісного впливу джерела запалювання лежить в межах окружності, рівній половині мінімального діаметра даної фігури.

Викладені методи визначення осередку виникнення пожежі взаємно доповнюють один одного і тому при слідчих і експертних оглядах місця пожежі можуть застосовуватися одночасно з метою об'єктивного визначення осередку виникнення пожежі.

#### **4. Метод встановлення осередку пожежі за допомогою ультразвукових хвиль.**

В даний час у слідчій і експертній практиці найбільш широко використовується метод визначення осередку виникнення пожежі по Б.В. Мегорському. Сутність даного методу полягає в тім, що об'єкт пожежі піддається суцільному огляду з визначеною межею зорового сприйняття обстановки. У ході огляду виявляються ознаки спрямованості поширення горіння, сліди й ознаки, що вказують на осередок виникнення пожежі, і речові докази, що підтверджують безпосередню (технічну) причину виникнення пожежі.

Даний метод є досить надійним при установленні осередку виникнення пожежі, але для його здійснення вимагаються значні витрати часу, особливо на пожежах великих розмірів.

Для обстеження залізобетонних конструкцій за допомогою ультразвукових хвиль при огляді місця пожежі застосовуються наступні прилади, матеріали і пристосування: прилад КК-10ПМ чи УКБ-1М – 1; датчики з плоскими контактами на частоту 60 кГц чи експонентні концентратори на частоту 90-100 кГц; штанга для кріплення датчиків, використовувана при прозвучиванні високо розташованих конструкцій; кабель для підключення датчиків з розніманнями на кінцях довжиною 10 м; провід для заземлення приладу - 30 м; кабель для електроживлення приладу - 30 м; електролампа з патроном переносна; журнал для ведення записів; допоміжний інструмент, що складається з викрутки, бокорізів, ножа, електричного індикатора, шукача, крейди і ізоляційної стрічки.

По прибуттю на об'єкт пожежі експертна група з'ясовує по проектним даним і на місці пожежі план і висоту приміщення з указівкою фактичного розташування пожежного навантаження, устаткування і т.і.; габаритні розміри, марку бетону, товщину захисного шару і вид обробки поверхні залізобетонних плит і панелей стін, перекриттів, покриттів і інших елементів; напрямки стиків між плитами і панелями; температуру

конструкцій і повітря в приміщенні в момент початку прозвучування УЗ-хвилями.

Перед початком прозвучування описуються дані про пожежу, а саме характер і місця видимих руйнувань негорючих і важкогорючих конструкцій; моменти виникнення і ліквідації пожежі; час активного горіння; передбачувана причина пожежі; характер дій пожежних підрозділів при гасінні пожежі і використані при цьому вогнегасні засоби.

Установлення осередку виникнення пожежі здійснюється шляхом порівняння. Сутність методу полягає в порівнянні швидкості проходження УЗ-хвиль у нагрітих і не нагрітих зонах конструкцій через співвідношення:

$$C_r/C_{r0} \text{ чи } C_i/C_{i0}, \quad (17)$$

де:  $C_r$  - середнє значення швидкості проходження поверхневої УЗ-хвилі в бетоні, підданому температурному впливу при пожежі;

$C_{r0}$  - середнє значення швидкості проходження поверхневої УЗ-хвилі в бетоні, не підданому температурному впливу при пожежі;

$C_i$  - середнє значення швидкості проходження подовжної УЗ-хвилі в бетоні, підданому температурному впливу при пожежі;

$C_{i0}$  - середнє значення швидкості проходження продольної УЗ-хвилі в бетоні, не підданому температурному впливу при пожежі.

Чим менше зазначені відносини швидкостей, тим більше руйнувань у бетоні і, отже, вище температурний вплив при пожежі на досліджуваній ділянці конструкції. Зони розподілу мінімальних значень відносин швидкостей визначають зону осередку виникнення пожежі.

Тактика установлення осередку пожежі цим методом здійснюється в такий спосіб.

На місці пожежі намічають план обстеження і вибирають найбільш характерні типи конструкцій. У відповідному масштабі складають план обраної конструкції і на ньому роблять розмітку по квадратах прозвучування. У кожному квадраті визначають точки прозвучування, що нумерують у визначеній послідовності. Кроки прозвучування вибирають з урахуванням ступеня поразки і розмірів конструкції в межах від 25 до 50 см. Потім розмітку з плану переносять на натуру з урахуванням обраного масштабу побудованого плану.

У визначених точках прозвучування конструкції при необхідності захищають від залишків шпаклівки, фарби для створення акустичного контакту.

Обстеження конструкцій здійснюється за допомогою поверхневих і подовжніх УЗ-хвиль. Поверхневими хвилями прозвучивають конструкції, що при пожежі піддаються одnobічному прогріву (стіни, перегородки, перекриття, покриття і т.і.). Подовжніми хвилями прозвучивають конструкції, що при пожежі піддаються трибічному чи чотирибічному прогріву (колони, ферми, балки, ригеля і т.і.).

На результати прозвучування впливає положення арматурного стрижня в бетоні. Якщо напрямок поширення УЗ-хвилі і розташування



арматурного стрижня збігаються, то швидкість проходження хвилі підвищується. Якщо напрямок прозвучування перпендикулярний арматурному стрижню, то його положення не впливає на результати вимірів. Тому й в обраних точках для прозвучування виміри проводять при двох взаємно перпендикулярних положеннях шаблону з концентраторами і з отриманих даних вибирають найбільше значення часу проходження УЗ-хвилі.

При застосуванні поверхневих УЗ-хвиль, конструкції в намічених точках обстежують методом однобічного прозвучування. У залежності від стану бетону базу прозвучування вибирають у межах від 6 до 10 см. Час проходження УЗ-хвилі фіксують по першому максимумі прийнятого сигналу. Для порівняння з однотипною конструкцією поза зоною горіння визначають середню швидкість проходження поверхні хвилею, що приймають за еталонну  $C_{ro}$ . Результати прозвучування поверхневими звуковими УЗ-хвилями в прийнятих точках заносять у таблицю.

Для обстеження конструкцій прозвучуванням подовжніми хвилями вибирають ті самі елементи частин будинків. Обстеження проводять методом наскрізного прозвучування. Датчики встановлюють із протилежних сторін обраної конструкції точно навпроти один одного, заміряють товщину конструкції в тім місці, що вважають базою вимірів. Час проходження УЗ-хвилі фіксують по першому надходженню прийнятого сигналу. На непрогрітій ділянці чи на однотипній конструкції визначають середню швидкість подовжньої хвилі, що приймають за еталонну  $C_{ro}$ .

Результати прозвучування подовжніми УЗ-хвилями в прийнятих точках заносять у таблицю.

Після завершення прозвучування обраних конструкцій для кожної точки обстеження розраховують середнє значення часу проходження поверхневої (подовжньої) УЗ-хвилі по формулі:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (18)$$

де:  $t$  - середній час проходження поверхневої (подовжньої) УЗ-хвилі, мкс;

$t_i$  - обмірюване значення часу прохордження УЗ-хвилі в досліджуваній точці, мкс;

$n$  - число вимірів за часом проходження поверхневої (подовжньої) точці вимірів повинне бути не менш п'яти.

При прозвучиванні поверхневими УЗ-хвилями відносну швидкість, виражену через відношення обмірюваної швидкості проходження УЗ-хвилі до еталонного, розраховують по формулі:

$$C_i/C_{ro} = (t_r - t_0)/(t_{ro} - t_0) \quad (19)$$

де:  $t_r$  - середній час проходження поверхневих УЗ-хвиль у досліджуваній точці, мкс;

$t_{ro}$  - середній час проходження поверхневих УЗ-хвиль у бетоні, не підданому температурному впливу при пожежі, мкс;

$t_o$  - середній час затримки УЗ-хвилі в датчиках і сполучних кабелях, мкс.

При прозвучиванні подовжніми УЗ-хвилями відносну швидкість, виражену через відношення обмірюваної швидкості проходження УЗ-хвилі до еталонного, розраховують по формулі:

$$C_i / C_{ro} = (\delta_i \cdot 10^6) / (t_i - t_{ю}) \cdot \delta_{ю} \quad (20)$$

де:  $\delta_i$ ,  $\delta_{ю}$  - відповідно база прозвучивання в досліджуваній точці на місці пожежі й у бетоні, не підданому температурному впливу при пожежі, м;

$t_i$  і  $t_{ю}$  - відповідно середній час проходження подовжніх УЗ-хвиль у досліджуваній точці на місці пожежі й у бетоні, не підданому температурному впливу при пожежі, мкс.

Після завершення розрахунків відносної швидкості проходження поверхневих (продольних) УЗ-хвиль їх значення проставляють на плані конструкції. Потім на плані умовно обраним штрихуванням відзначають зони, у яких відносна швидкість проходження УЗ-хвиль знаходиться відповідно в межах 1.6 - 0.91; 0.9 - 0.81; 0.8 - 0.71; 0.7 - 0.61; 0.6 - 0.51 і т.і. Зона найменшої відносної швидкості відповідає зоні найбільших руйнувань конструкції під дією тепла на пожежі і відповідає, як правило, осередку виникнення пожежі.

Остаточний висновок про положення осередку виникнення пожежі роблять тільки з урахуванням розташування і характеру вигорання пожежного навантаження на об'єкті, де відбувається пожежа.

При відомому часі горіння по відносній швидкості проходження поверхневих (подовжніх) УЗ-хвиль можна визначити поле розподілу температур, до яких нагрівалася конструкція при пожежі в приміщенні з точністю до  $\pm 50^\circ\text{C}$ . Зона максимальних температур відповідає осередку виникнення пожежі. Викладений метод визначення осередку виникнення пожежі за допомогою УЗ-хвиль істотно доповнює перший. Але область застосування даного методу поки обмежується тільки залізобетонними конструкціями, виконаними з марок бетону від М200 до М600.

## **5. Метод визначення осередку пожежі по дослідженню обвуглених залишків деревини і ДСП. Добір проб обвуглених залишків деревини і ДСП на місці пожежі.**

У ряді випадків осередкові ознаки на місці пожежі виражені не ясно і тому виникають утруднення при установленні осередку пожежі, отже, і з'ясуванні її причини.

Одним з найбільш доступних у приладовому відношенні й, у той же час, найбільш інформативних є метод визначення осередку пожежі по залишках обвуглювання дерев'яних конструкцій.

Суть даного методу полягає в тому, що деревина термічно розкладається в умовах пожежі, проходить цілий ряд хімічних перетворень своєї структури, а також і фізико-хімічних властивостей.

Фізико-хімічні властивості вугілля, що утворюється в умовах пожежі, визначається в основному температурою і тривалістю теплового впливу. Вплив інших умов, наприклад, повітрообміну, як правило, є другорядним і їм можна зневажити.

До безсумнівних переваг цього методу варто віднести те, що на обумовлені фізико-хімічні властивості вугілля не здійснюють впливу ні порода досліджуваної деревини, ні можлива присутність на поверхні деревини в момент виникнення пожежі ЛЗР і ГР.

У той же час збереження на поверхні вугілля деяких інших, що заважають його аналізу компонентів, наприклад, мінеральних залишків лакофарбових покриттів, істотно змінюють фізико-хімічні властивості вугілля за глибиною вугільного шару. Це обумовлює досить тверді вимоги до добору проб вугілля на місці пожежі. Тільки при дотриманні всіх описаних вище вимог метод визначення осередку пожежі по деревинних вугільних залишках буде максимально інформативний.

Насамперед при доборі проб вугілля необхідне ретельне візуальне обстеження обгорілих конструкцій і предметів. Добір проб доцільний у точках з найбільшою глибиною обвуглювання, на ділянках, де по тим чи іншим розумінням передбачається осередок пожежі, зона тривалого горіння чи тління, а також в інших точках, інформація про тривалість і інтенсивність процесу горіння, який становить першочерговий інтерес для дослідника.

Дуже доцільний добір проб у значній кількості точок (15-20 і більш) по всій зоні пожежі. Це дає можливість більш об'єктивно відтворити картину її розвитку. Дуже важливо, щоб у намічених точках добору проб шар вугілля не був порушений, сколений, тому що ушкоджена ділянка вугілля непридатна для аналізу.

В обраних точках змінюється товщина шару вугілля. Зручніше за все це робити за допомогою штангенциркуля-глибиноміра. При його відсутності для вимірів може бути використана тонка металева лінійка. Вона також легко протикає шар вугілля, але не входить у деревину.

Крім товщини шару вугілля в даній точці визначається величина втрати перетину конструкції ( $h_n$ ). Якщо пробу відбирають на ділянці деревини з роздутої при пожежі поверхні, то приймають  $h_n=0$ .

Визначають також первісну товщину елемента конструкції на даній ділянці. Роблять це або виміром конструкції на уцілій ділянці, або шляхом обмірювання аналогічних конструктивних елементів (дощок підлоги, балок і т.і.).

Потім приступають до добору проби. За допомогою ножа чи скальпеля на дослідження відбирають верхній (3-5 мм) шар вугілля з площі

до 5 см<sup>2</sup>, попередньо змахнувши з його м'яким пензликом хлоп'я золи і часточки пожежного сміття.

Варто підкреслити, що властивості вугілля міняються по шарах, тому шар потрібно відбирати по можливості точно й акуратно. У місцях суцільних прогарів вугілля відбирають по схилі "кратера" прогару, бажано в 2-3 точках, окремими пробами. У випадках же великих тріщин пробу відбирають не в тріщині, а на поверхні елемента конструкції. Тут же вимірюють товщину обвугленого шару.

Вугілля необхідно відбирати з боку, зверненого до джерела теплового впливу. Якщо неясно, відкіля відбувався вогневий вплив, то окремі проби відбирають із двох сторін.

Відібране вугілля упаковують у стандартні паперові конверти, на кожному конверті вказують номер проби і місце її добору на плані. На кожному конверті також указуються чисельні значення величин:  $h_y$ ;  $h_n$ ;  $h$ , обумовлені в процесі добору проб вугілля. До проб вугілля повинна бути обов'язково представлена план-схема місця пожежі з указівкою місця добору проб. Описаний метод визначення осередку пожежі по дослідженню фізико-хімічних властивостей вугілля успішно застосовується протягом ряду років ВПЛ УДПО УМВС Одеської області і зарекомендував себе як інформативний, достовірний і досить простий. Застосування даного методу дозволяє вказати для кожної точки, у якій відібрана проба два найважливіших параметри: час теплового впливу (у хвиликах) і температуру (у °С). Маючи ці дані для 15–20 точок по всій зоні пожежі, можна, об'єднавши лініями точки з однаковими чи близькими параметрами, одержати представлення про спрямованість поширення вогню, а також про місце розташування осередку пожежі.

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

I. Вивчити матеріал лекції.

II. Підготувати доповідь за темою:

1. Інструментальні методи визначення осередків пожеж. Метод визначення змісту летучих речовин (метод елементарного аналізу, метод інфрачервоної спектроскопії, термічний чи термогравітаційний аналіз, метод флуорисцентної спектроскопії).

2. Методи дослідження сталевих конструкцій і предметів.

3. Методи дослідження обгорілих залишків лакофарбових покриттів (метод визначення зольності, метод ІЧ-спектроскопії).

4. Методи дослідження матеріалів на основі гіпсу, вапна і цементу.

5. Методи виявлення і дослідження слідів легкозаймистих і горючих рідин у речових доказах.

6. Методи визначення пожежонебезпечних характеристик рідин, твердих речовин.

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 10.1. за посиланням <https://forms.gle/ASf7YY2aiPSVavaS6>

## **ЛЕКЦІЯ № 11**

### **ПРОГРАМНІ ПРОДУКТИ У СФЕРІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

#### **Література:**

1. Степчук О.М., Полухович 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.

2. 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.

#### **Мета лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з програмними продуктами, що застосовуються у сфері пожежної безпеки.

2. Розвиваюча – придбання нових знань з застосування програмних продуктів, що застосовуються у сфері пожежної безпеки.

3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### **План:**

1. Програмні продукти у сфері забезпечення пожежної безпеки.
2. Математичне моделювання розміщення пожежно-рятувальних частин. Постановка проблеми.

#### **Теоретична частина:**

##### **1. Програмні продукти у сфері забезпечення пожежної безпеки.**

Розвиток інформаційних технологій зумовив використання комп'ютерів практично у всіх сферах діяльності людини. Не залишилася осторонь галузь забезпечення пожежної безпеки. Вирішення сучасних завдань та проблем в цій галузі вимагає створення комп'ютерних моделей. Модель (від лат. *modulus* - міра, зразок, норма) - це об'єкт-замінник, створений з метою відтворення за певних умов суттєвих властивостей об'єкта-оригіналу. Основним призначенням моделі є прогноз реакції об'єкта на керувальні впливи. Крім того, моделі використовуються для дослідження об'єкта, аналізу його чутливості.

Під комп'ютерною моделлю найчастіше розуміють:

– умовний образ об'єкта чи деякої системи об'єктів (або процесів), описаних за допомогою взаємозалежних комп'ютерних таблиць, схем, діаграм, графіків, рисунків, анімаційних фрагментів, гіпертекстів і т. ін.,

що відбивають структуру та взаємозв'язки між елементами об'єкта чи системи;

– окрему програму, сукупність програм чи програмний комплекс, що дає змогу виконанням послідовності обчислень з подальшим графічним відображенням їх результатів відтворювати (імітувати) процеси функціонування об'єкта (системи об'єктів), що функціонує під впливом різних, як правило, випадкових, факторів.

Суть комп'ютерного моделювання полягає в одержанні кількісних та якісних результатів на основі розробленої моделі. Комп'ютерне моделювання є незамінним інструментом для вироблення оптимальних стратегій прийняття рішень в критичних ситуаціях або в умовах ризику, а також виступає універсальним методом оперативного аналізу надзвичайної ситуації, а також пошуку правильного рішення для її ліквідації.

Комп'ютерне моделювання має істотні переваги над натурним експериментом:

- 1) істотне скорочення витрат на проведення експерименту;
- 2) не потрібно складного лабораторного устаткування;
- 3) можливість проведення експериментів у деяких галузях науки, де це небезпечно (пожежна та техногенна безпека, екологія, ядерна фізика) або неможливо (через внесення необоротних змін у досліджуваний процес);
- 4) у процесі побудови математичних моделей можна проаналізувати і зрозуміти характеристики досліджуваного об'єкта;
- 5) можливість вільного керування параметрами, довільної їхньої зміни.

Моделювання динаміки розвитку пожеж в будівлях можна застосовувати для різноманітних цілей (рис. 1): дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій; дослідження поширення пожежі та небезпечних факторів всередині приміщення; проектування систем димовидалення та правильного вибору типу системи протипожежного захисту; розрахунку часу та шляхів безпечної евакуації людей з будівель; вивчення пожежо- та вибухонебезпечних властивостей речовин та матеріалів; моделювання процесів припинення горіння, тощо.

Найбільший інтерес для розрахунку небезпечних факторів пожежі становить диференціальне моделювання, яке найбільш точно та детально описує процес розвитку пожежі. Для таких задач використовуються фундаментальні закони збереження кількості руху, енергії і маси, записані для елементарних обсягів, на які розбивається розглянута область простору. Диференціальні моделі називаються також польовими, або CFD-моделями (Computational Fluid Dynamics).

Пакет комп'ютерних програм FDS (Fire Dynamic Simulator) розроблений для моделювання процесів займання і поширення пожеж. Алгоритми, які увійшли в його основу, базуються на фізичних законах гідродинаміки і теплопередачі. Теплове випромінювання розраховується

методом кінцевих елементів у тривимірній сітці (області моделювання). Дане програмне забезпечення допомагає відновити реальні умови пожежі в житлових та промислових приміщеннях. Основною метою FDS є вирішення прикладних задач в області пожежної безпеки та забезпечення необхідним інструментом для вивчення фундаментальних процесів під час горіння.

FDS найчастіше застосовують для вирішення таких задач: дослідження поширення тепла і продуктів горіння від пожежі; радіаційно-конвективний теплообмін газів і поверхонь твердих тіл; спрацювання спринклерів, теплових і димових давачів; поширення полум'я під час пожежі; перебіг процесів піролізу; гасіння пожеж спринклерами; моделювання процесів евакуації. Аналіз результатів моделювання зазвичай проводять за числовими даними, зафіксованими у вихідних файлах. FDS має унікальну можливість візуального відображення процесів моделювання за допомогою програми Smokeview.

Застосування інформаційних технологій, зокрема комп'ютерного моделювання під час наукових досліджень дає змогу істотно скоротити час та витрати на проведення натурального експерименту; провести експеримент на таких об'єктах, де це небезпечно або неможливо; істотно покращити науковий рівень досліджень, а також підвищити рівень пожежної безпеки на об'єктах різноманітного функціонального призначення, зокрема потенційнонебезпечних та об'єктах підвищеної небезпеки.

## **2. Математичне моделювання розміщення пожежно-рятувальних частин. Постановка проблеми.**

При виборі місця для розміщення нової пожежно-рятувальної частини або оцінки правильності розміщення вже створених підрозділів необхідно враховувати кількість пожежонебезпечних об'єктів, їх ступінь небезпеки, їх територіальне розміщення, наявність та стан шляхів під'їзду до цих об'єктів. У найпростішому вигляді задача розміщення пожежно-рятувальних підрозділів вирішена, як задача розміщення кіл певного радіусу. При цьому в якості визначаючого параметру обрано час прибуття підрозділу до місця пожежі. Граничний радіус кола визначається за умови, що цей час не повинен перевищувати встановлених значень з урахуванням швидкості руху пожежного автомобіля. Внаслідок врахування транспортних комунікацій район обслуговування пожежно-рятувальним підрозділом отримав вигляд багатокутника. Задачі просторового розміщення багатокутників додатково ускладнюється відмінністю розмірів та форм окремих багатокутників в межах однієї області розміщення. Оптимізація розміщення пожежних підрозділів дозволяє суттєво знизити інтегральний пожежних ризик локальної території. Вирішення таких задач потребує залучення методів комбінаторної оптимізації.

Оцінка рівня пожежної небезпеки району враховує багато параметрів та проводиться окремими методами для міста та для лісу. На теперішній

час широкого використання набув метод просторового градування територій по ступеням пожежного ризику. Проте такий підхід добре підходить тільки до локальних територій однакового пожежного навантаження, наприклад ліси, поля та інше. Проте врахування пожежних ризиків в щільній різноплановій забудові потребує розглядання характеристик кожного окремого об'єкту.

Використання методів комбінаторної оптимізації за рахунок дерева рішень дозволяє спростити процес рішення задачі просторового розміщення пожежних підрозділів з різними межами районів виїзду та різними функціональними спроможностями. Недоліком запропонованої моделі є велика кількість можливих гілок рішень. Цей недолік можна вирішити при шляхом визначення стаціонарного закріплення одного з параметрів – або пожежного підрозділу або пожежонебезпечного об'єкту.

При цьому необхідно враховувати вид прилеглої забудови, комунікації, наявність вільного місця та додаткові параметри. За цих умов існує два підходи до вирішення цієї задачі. Один з підходів полягає в урахуванні додаткових умов на розміщення пожежних підрозділів у певному переліку можливих місць. Такий підхід нами розглянуто вище, що дозволяє суттєво скоротити кількість гілок дерева рішень. Другий підхід полягає у визначенні пріоритетних областей розміщення пожежних підрозділів, а конкретне місце визначається головним архітектором міста. В якості переваги такого підходу є гнучкість до врахування всіх існуючих обмежень та суперечок.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Підготувати доповідь за темою:
  1. Методи дослідження протипожежного захисту міст.
  2. Системний підхід у моделюванні процесу розміщення пожежно-рятувальних частин.
  3. Математичне моделювання розміщення пожежно-рятувальних частин.
  4. Метод оптимізації розміщення пожежно-рятувальних частин.
  5. Визначення плану раціонального розміщення пожежно-рятувальних частин.
- III. Пройти тестування за темою лекції: тест 11.1. за посиланням <https://forms.gle/ahG1qNotPEQA5fQd8>



## ЛЕКЦІЯ № 12\_13

### ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ

#### Література:

1. 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.
2. PyroSim - полевая модель пожара. URL: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim>

#### Мета лекції:

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними програмними комплексами для визначення розрахункового часу евакуації людей під час пожежі.
2. Розвиваюча – придбання нових знань з застосування програмних комплексів для визначення розрахункового часу евакуації людей під час пожежі.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

#### Теоретична частина:

Однією з найважливіших вимог пожежної безпеки для об'єктів є забезпечення безпечного та своєчасного евакуювання людей з будинків та споруд під час пожежі. Забезпечення пожежної безпеки людей вимагає організації їх безпечної евакуації. Достовірне визначення часу евакуації та параметрів шляхів евакуації впливає як на рівень протипожежного захисту об'єкта в цілому так і на забезпечення безпеки людей, що в ньому перебувають. Критерії безпечної евакуації людей є своєчасність і безперешкодність, які перевіряються розрахунками за допомогою математичних моделей, реалізованих з використанням програмного забезпечення.

Метою **розрахунку шляхів та часу евакуації** є перевірка відповідності розмірів дверних виходів із будівлі при виникненні надзвичайної ситуації пожежного характеру вимогам безпеки. Критеріями безпеки є своєчасність евакуації, тобто до настання граничних значень небезпечних факторів пожежі, і безперешкодність руху без утворення високих небезпечних густин, що забезпечується достатньою пропускною здатністю шляхів евакуації та евакуаційних виходів. Комунікаційні шляхи приміщення в будівлі займають до 30% відсотків робочої площі конструкцій, тому вибір їх раціональних розмірів має відношення не тільки до безпеки людей, а й до економіки будівництва. Відзначимо, що

розрахунок може проводитися і для нормальних умов функціонування будівлі для забезпечення необхідного рівня комфортності руху людей.

Розрахунок, як правило, проводиться в наступному порядку:

1. Ставиться умова, наприклад забезпечення заданого часу руху людей або щільності людських потоків, що пов'язано з небезпекою здоров'я людей при виникненні надзвичайної ситуації або комфортності пересування в межах нормальних умов.

2. Визначається розрахункова чисельність людей.

3. Вибираються найбільш ймовірні шляхи руху людей, що являє собою досить складну задачу, оскільки об'єктивних методів поки не існує. Людина, яка здійснює розрахунок, враховує наступні суб'єктивні фактори: люди завжди намагаються рухатися до більш широких і добре помітних виходів; використовують знайомі маршрути руху, тобто покидати будівлю тим самим шляхом по якому прийшли; рухатися в протилежну сторону від місця виникнення пожежі, хоча при цьому це не завжди оптимальний шлях. Тому, як правило, доцільно оцінити кілька варіантів. Більш точно спрогнозувати напрямки руху людей можна на вже функціонуючому об'єкті з урахуванням сформованого режиму його експлуатації, а також проведених завчасно тренувань тестової евакуації, врахування «ефекту паніки».

4. Визначаються розміри комунікаційних шляхів, внаслідок чого оптимально вирішується ряд задач: ефективна ширина ділянки шляху та частина шляху, яка реально використовується для руху людей.

5. Проводиться розрахунок параметрів руху людей. В даний час для розрахунку шляхів евакуації використовуються.

6. Аналізуються отримані результати. Перш за все, перевіряється відповідність результатів розрахунку допустимим значенням часу евакуації і щільності з урахуванням ризику отримання травм людиною. Якщо задані параметри виявилися перевищені, визначаються місця, в яких утворилися скупчення людей: рух відбувається занадто повільно, а щільність людського потоку висока. У цих місцях, шляхом розширення відповідних ділянок, слід забезпечити такий хід процесу евакуації, який відповідав би заданим умовам. Навпаки, якщо в результаті розрахунку значення мають запас часу, то можливим є скорочення розмірів таких ділянок будівлі, які можуть дати найбільший економічний ефект.

В останні кілька років моделюванню евакуації людей з приміщень було присвячено багато досліджень. Аналіз існуючих робіт показує, що, в основному, розрахунки проводяться з використанням наступних трьох математичних моделей: спрощеної, імітаційно-стохастичної та індивідуально-поточної моделей.

Таблиця 1 – Врахування закономірностей руху людей під час евакуації у програмних продуктах

Процеси моделей	Спрощена модель	Імітаційно-стохастична модель	Модель індивідуально-поточного руху
Перетин межі суміжної ділянки шляху	+	+	+
Переформування	-	+	+
Розтікання	-	+	+
Розподіл потоку	+	+	+
Злиття	+	+	+
Неодноразовість злиття	-	+	+
Створення та розтікання скупчень	-	+	+
Розсілення	-	+	+
Врахування варіабельності фізичного і емоційного стану людей	-	*	+
Врахування особливостей вибору людьми маршрутів евакуації	-	-	+
Врахування індивідуальних «сценаріїв» евакуації (виконання інструкцій, завдання ролей)	-	-	+
Врахування протитечі і пересічних потоків	-	+	+

Умовні позначення: + враховуються повністю, - не враховується, \* - враховується неповністю у порівнянні з реальними процесами.

Застосування програм в моделюванні руху людських потоків під час евакуації обумовлюється необхідністю відтворення реального різноманіття станів системи, їх поєднань і переходів. На сьогодні існують детерміновані й імовірнісні моделі, за допомогою яких моделюється рух людей по шляхах евакуації при пожежі.

На початку 80-х років минулого століття проф. В. В. Холщевніковим була розроблена модель ADLPV, яка в рамках сучасної термінології називається імітаційно-стохастичною. Ця модель значно точніша спрощеної аналітичної моделі за рахунок поділу будівлі на елементарні ділянки шириною близько 1 м і виконання кількох розрахункових операцій в секунду для кожної ділянки.

Для реалізації зазначених моделей (спрощеної аналітичної та імітаційно-стохастичною) розроблено програмне забезпечення – модель «Флоутек».

У програмі «СІТІС: Флоутек ВД» реалізовані обидві моделі для розрахунку швидкості потоку залежно від його щільності.

Моделі класу «індивідуально-поточковий рух» отримали найбільш широке поширення. Найбільш відомими і перевіреними практикою (офіційно були використані при проектуванні будинків і споруд з масовим перебуванням людей) є моделі SIMULEX, Pathfinder, STEPS, Building Exodus.

Оскільки реальний експеримент вимагає значних витрат, іноді як експериментальні дані можуть виступати лише результати реальних пожеж, часом з трагічним результатом, виникає необхідність комп'ютерного моделювання руху людей, наприклад, з метою визначення найкращої геометрії простору, де передбачається скупчення людей, або визначення часу евакуації.

**Building Exodus** – програмний комплекс для моделювання евакуації людей з різних типів будівельних конструкцій, який проводиться за допомогою двовимірної просторової сітки. У ньому реалізована спроба розгляду впливу пожежі на процес евакуації людей. Комплекс складається з підмодулів, які взаємодіють один з одним для передачі інформації про процес моделювання евакуації людей, даних про геометрію об'єкта, даних про людей, їх рух і поведінку, концентрацію токсичних продуктів горіння, диму та температури.

**Green Line** – програмний комплекс призначений для визначення розрахункового часу евакуації людей при пожежі за методикою, що описана в та отримання результатів у вигляді звіту, що містить весь хід обчислень.

Програмний комплекс дозволяє введення вихідних даних для розрахунку за допомогою графічного редактора з можливістю використання підкладки з планами будівлі, автоматизує визначення довжини ділянок евакуаційних шляхів за допомогою заданої масштабної ділянки, формує звіт з результатами обчислень параметрів руху людей по кожній ділянці у форматі doc.

Проте програма не дозволяє задавати масштаб зображень з планами будівель з відповідною точністю, що призводить до деяких неточностей у розрахунку та не враховує методику розрахунку впливу небезпечних чинників пожежі на людей.

**Simulex** – програмний комплекс з можливістю моделювання евакуації людей з будівель зі складною геометрією.

Він заснований на визначенні відстані між людьми, від якої залежить їх швидкість руху. Модель дозволяє людям здійснювати обгін, обертання навколо осі тіла, рух боком і рух назад невеликим кроками. Структура моделі – це суцільна просторова сітка. Плани поверхів і сходи розподілені на блоки, що мають решітку розміром  $0,2 \times 0,2$  м. Модель містить алгоритм, який розраховує відстань від кожного блоку до найближчого виходу та відображає цю інформацію на плані. Рух кожної людини розглядається індивідуально та відстежується програмою її вихід за межі визначеної розрахункової області, що демонструється під час візуалізації розрахунків. Дозволяється задати рух людей до найближчого виходу за умовчанням або створити окремий маршрут для людини за заданим маршрутом з блокуванням окремих виходів. Програмним комплексом передбачена неявна поведінка агентів, а саме: змінна швидкість руху, рух в бік, обертання навколо осі тіла, обгін та ін., в основі якої закладено результати

багатьох відеоспостережень та аналізу результатів окремих спостережень ряду наукових досліджень.

Програмний комплекс **FDS+Evac** розроблено Центром Технічних Досліджень Фінляндії VTT (VTT Technical Research Centre of Finland). EVAC є модулем до Fire Dynamics Simulator (FDS), проводить моделювання процесу евакуації людей, моделювання поведінки людей за допомогою моделі індивідуально-поточного руху людей. Моделювання евакуації повністю інтегрується з процесом моделювання поширення пожежі, дозволяє моделювати різні «сценарії», візуалізує отримані результати та перебіг процесів евакуації і розповсюдження пожежі. Також при моделюванні можливе врахування впливу небезпечних чинників пожежі на процес евакуації.

Через велику кількість функцій, потужний розрахунковий апарат, детальне моделювання і візуалізацію результатів, програмний комплекс має доволі високі вимоги до технічних параметрів обчислювальної техніки та відносно суттєвий час проведення моделювання.

Програмний комплекс **Citic Evatek** використовується для моделювання евакуації людей з різних типів будівель. Передбачено отримання даних про процес евакуації людей, а саме: часу евакуації з будівлі або її частини, щільності потоків в будь-який момент часу і будь-якій частині будівлі, пропускну здатності частин будівлі тощо.

Особливості програмного комплексу:

- розрахунок часу евакуації людей з урахуванням особливостей індивідуального руху людини у потоці;
- наявність бази даних по різних профілях людини;
- алгоритм руху – пошук найкоротшого шляху з врахуванням динамічного огинання перешкод і можливістю формування потоків;
- залежність швидкості руху людини від щільності потоку у прямокутній області навколо неї згідно;
- можливість створення декількох профілів людини і «сценаріїв» поведінки;
- введення вихідних даних для розрахунку за допомогою вбудованого графічного редактора, можливість імпорту геометрії з DXF файлів;
- відображення карти щільності, і пройденого поточного шляху для всіх людей з можливістю відтворення і запису результатів розрахунку;
- 2D / 3D режими візуалізації руху;
- формування звіту, що включає вихідні дані, результати моделювання, графіки, максимальної і середньої щільності в моменти часу, відсоток виходів, що використовуються;
- експорт оформленого звіту в формат RTF.

Програмний комплекс **Citic Floutek** може бути використаний для різних типів будівель.

Особливості програмного комплексу:

- введення вихідних даних для розрахунку за допомогою вбудованого графічного редактора на основі сканованих планів будівлі;
- підтримка параметризації. Значення деяких властивостей, наприклад, кількість людей, щільність, час початку евакуації можна задавати у вигляді математичних виразів;
- можливість створення декількох «сценаріїв» евакуації;
- відображення карти розрахункових ділянок та шляхів евакуації, перегляд основних параметрів для кожної розрахункової ділянки;
- 2D / 3D анімація руху людських потоків з можливістю покрокового перегляду;
- формування звіту, що включає вихідні дані, таблиці розрахунку часу евакуації з кожного приміщення, таблиці часу виходу з поверхів, таблиці ділянок із затримкою руху, зведену таблицю часу евакуації для всіх «сценаріїв», карти ділянок розрахунку, зображення шляхів евакуації;
- експорт оформленого звіту в формат RTF.

Програмний комплекс **Evacnet 4** використовується для різних типів будівель, таких як офісні будівлі, стадіони, висотні будівлі, готелі, ресторани і школи. Основним завданням моделі є оптимізація евакуації з будівлі для мінімізації часу евакуації.

Тип моделі – модель руху. Модель поведінки агентів непередбачена.

Програмний комплекс **PedGo** призначений моделювання руху натовпу людей, моделювання евакуації людей з будівель, кораблів, літаків та інших видів громадського транспорту.

Структура моделі: «дрібна сітка», яка розподіляє поверх на сітку розміром 0,4×0,4 м і являє собою простір, що займає людина. Стіни, меблі та інші перешкоди постійно зайняті сіткою в процесі моделювання. Поведінка людини неявна. Кожна людина в моделі представлена індивідуально з можливістю вибору маршрутів руху. Модель пропонує перед початком розрахунків задати для людей певні характеристики, такі як: затримка перед початком евакуації, час очікування, реагування, бездіяльність, вплив. Цей набір параметрів використовується для опису характеристик поведінки людей і призначається окремим з них в процесі моделювання за нормальним розподілом. Два з цих параметрів, час затримки і вплив, є стохастичними.

**Pathfinder**, цей програмний комплекс використовує сучасні методи досліджень в галузі інформатики для моделювання руху людей. Має декілька режимів моделювання, дозволяє налаштовувати параметри людей і моделювати різні сценарії розвитку подій.

В **Pathfinder** кожна людина використовує набір окремих параметрів та моделюється незалежно одна від одної протягом всього часу моделювання з використанням моделі індивідуально-потокowego руху людей. На додаток до передового стимулятора руху людей, **Pathfinder** включає в себе інтегрований інтерфейс і 3D-візуалізацію результатів.

Програмний комплекс дозволяє враховувати вплив небезпечних чинників пожежі (блокування шляхів евакуації) на процес евакуації людей, в будівлі та умови розповсюдження пожежі. В цьому випадку, необхідно буде шукати інші шляхи евакуації людей. З урахуванням цього можливе отримання результату, який суттєво може відрізнятись від того, що не враховує вплив на людей небезпечних чинників пожежі.

В **Fenix+** є одна особливість, яка дозволяє при розрахунку часу евакуації не розбивати будівлю на окремі ділянки. Це особливо зручно при розрахунку евакуації з будівель з приміщеннями складної (непрямокутної) конфігурації.

Результати моделювання кожного «сценарію» зберігаються в окремий текстовий файл, який може бути відкритий іншою програмою (наприклад, Excel) для отримання додаткової інформації. Анімація відтворення результатів моделювання з можливістю покрокового перегляду.

При розрахунку часу евакуації для кожної людини можна задати наступні параметри:

- мобільність;
- площа горизонтальної проекції;
- час початку евакуації;
- вихід, через який повинна евакуюватися людина;
- розміщення людей в момент початку евакуації;
- можливість розміщення як однієї людини, так і групи людей у довільно заданій області.

Для розрахунку в **Fenix+** реалізована модель індивідуально-поточного руху людей при пожежі.

Модель руху людини включає кілька складових:

- рух до евакуаційного виходу по найкоротшому шляху;
- обхід перешкод;
- запобігання зіткнень з іншими людьми.

Також є можливість відображати весь шлях кожної людини, пройдений шлях або тільки майбутній шлях, а також, відключити відображення шляху. Крім цього, для додаткової зручності програма дозволяє відтворювати евакуацію з різною швидкістю.

Аналіз сучасних програмних комплексів показує високий рівень теоретичної обґрунтованості і відповідності реальним результатам, який дозволяє оцінювати ступінь ризику для людей при моделюванні евакуації людей як випадкового процесу. Цими підходами враховані моделі індивідуальної поведінки людей у потоці, що дозволяють передбачити особливості перебігу процесу евакуації з урахуванням психофізіологічних показників, що відхиляються від середньостатистичних показників у будівлях різних класів пожежної небезпеки. Такі моделі допоможуть також прогнозувати необхідність і вибір раціональних способів порятунку людей. Крім того, є можливість моделювання небезпечного фактору, який можна

враховувати при евакуації людей. Науково обґрунтоване прогнозування динаміки небезпечних факторів пожежі у приміщенні є основою економічно оптимального та ефективного рівня забезпечення пожежної безпеки людей та об'єктів.

Слід наголосити, що наведені програмні комплекси не враховують психологічний стан людини на процес евакуації, який може викликати дезорієнтацію у просторі та давку у вузьких отворах приміщень, що в подальшому може призвести до загибелі та травматизму. Це пов'язано з тим, що в умовах загроз зміна емоційного стану людей призводить до зміни швидкостей руху в напрямку евакуаційних виходів та несе за собою прямий фізичний вплив на щільність скупчення людей. В психофізиці відомо декілька законів, які описують відображення зовнішніх впливів на людину. Їх аналіз показав, що встановлені взаємозв'язки в найбільшій ступені можуть відповідати загальному закону Вебера – Фехнера. Також лишається недослідженим сумарний накопичувальний вплив шкідливих токсичних речовини, що не враховується в існуючих розрахункових моделях.

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 більше (менше) інших (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 фасаді 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 порівняні 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 допускається.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що польовий метод **розрахунку шляхів евакуації** необхідно застосовувати для будинків з масовим перебуванням людей, а також коли необхідно врахувати в розрахунку роботу систем протипожежного захисту.

#### **Питання для контролю знань:**

1. Програмний комплекс Building Exodus.
2. Програмний комплекс Green Line.
3. Програмний комплекс Simulex.
4. Програмний комплекс FDS+Evac.
5. Програмний комплекс Citic Еватек.
6. Програмний комплекс Citic Флоутек.
7. Програмний комплекс Evacnet 4.
8. Програмний комплекс PedGo.
9. Програмний комплекс Pathfinder.
10. Програмний комплекс Fenix+.

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

I. Вивчити матеріал лекції.

II. Підготувати доповідь за темами:

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

III. Пройти тестування за темою лекції: тест 12.1. за посиланням <https://forms.gle/h72Ed2bqf71i27Xt6>,

13.1. <https://forms.gle/cPCDGVA4KRCPKNCD9>

**ЛЕКЦІЯ № 14**  
**ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ МОДЕЛЮВАННЯ**  
**БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПРИ**  
**ПОЖЕЖІ**

**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. Ст, Водоп'янов Р. Ю. ЛІРА-САПР. Книга І. Основи/ред. Городецький А. С. Київ : Видавництво "LIRALAND", 2019. 154 с.
5. САПФІР 2017. Навч. посібник: навч. 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 лекції:**

1. Навчальна – ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними питаннями моделювання будівельних конструкцій будівель та споруд (програмним забезпеченням).
2. Розвиваюча – придбання нових знань з застосування програмного забезпечення у сфері забезпечення пожежної безпеки.
3. Виховна – виховувати професійні риси, почуття відповідальності; виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримати нові знання самостійно.

**План:**

3. Сучасні напрямки розробки та особливості функціонування проектувальних систем.
4. Огляд сучасних розрахункових програмних комплексів.
5. ЛІРА.

**Теоретична частина:**

**1. Сучасні напрямки розробки та особливості функціонування проектувальних систем.**

Каталоги компаній, які займаються поширенням програм для будівельного проектування, налічують сотні найменувань програм вітчизняних і зарубіжних виробників з усіх розділів проекту. Розглянемо кілька типових програмних систем, що використовуються у практиці

проектування конструкцій будівель і споруд для розрахунку, проектування та випуску робочих креслень. Передусім мова піде про так звані базові програми, на основі яких будуються різноманітні спеціалізовані додатки.

До універсальних базових програм належить один із найпопулярніших інструментів для випуску проектної документації – система **AutoCAD** компанії Autodesk. Добре продуманий графічний діалог із багаточисельними функціями, безперервний розвиток та підтримка (над графічною системою AutoCAD у фірмі Autodesk уже багато років працює понад 5000 спеціалістів) докорінно змістило акценти САПР у бік автоматизації чисто графічних робіт, тим більше, що випуск проектної документації на комп'ютерах став практично обов'язковим для більшості проектних фірм. На сьогодні AutoCAD – майже світовий стандарт у галузі систем автоматизованого проектування, реалізованих на персональних комп'ютерах. Формати файлів DWG і DXF системи AutoCAD стали стандартом обміну даних для більшості програм. Універсальність системи, крім того, забезпечує велика кількість спеціалізованих програмних "надбудов", створюваних багатьма незалежними розробниками та підключених до AutoCAD. До таких надбудов, наприклад, належать системи архітектурного проектування Architectural Desktop (Autodesk) та Project Studio (Consistent Software (CS), Москва), архітектурно-будівельна лінія МАЭСТРО (Група Маестро, Київ), додатки для оформлення архітектурно-будівельних креслень СПДС GraphiCS (CS) і ПАРКС (Медінвестпроект, Київ) тощо.

До базових, як правило, належать і системи архітектурного проектування. Це пов'язано з тим, що розробка більшості розділів проекту виконується на основі архітектурної моделі (об'ємно-планувального рішення, що є її основою), наявність цієї моделі становить якщо не обов'язкову, то бажану умову для автоматизації випуску проектної документації. Крім зазначених вище систем, широке застосування у практиці проектування знайшли системи ArchiCAD (Graphisoft, Угорщина) і ALLPLAN (Nemetschek, Німеччина), які використовують власне графічне середовище. Для створення нових додатків згадані системи у своєму складі мають спеціальні програмні засоби, які називають інтерфейсом пикладних програм – Application Program Interface (API). Ці засоби використовують розробники програмного забезпечення, з їхньою допомогою створені програми для передавання геометрії будівлі в системи розрахунку та проектування конструкцій, просторового трасування систем повітроводів та кондиціонування, розведення по будівлі мереж енергопостачання та багатьох інших.

Для автоматизації проектування металевих конструкцій використовують спеціальні програми, що враховують специфіку конструкцій цього виду. До них належать комплекси StruCAD (AceCAD Software), HyperSteel (DSC CAD/CAM-Technologien GmbH, Німеччина), RealSteel (InRe, Литва) та ін. (дві останні зі згаданих програм становлять

додаток AutoCAD). Відмінною ознакою цього виду програмного забезпечення є розвинені засоби тривимірного графічного моделювання конструкції та автоматичне формування на основі цієї моделі комплектів креслень марок КМ і КМД. Більше того, як додаток до програми StruCAD розробники пропонують додаткові модулі, серед яких модуль для створення програм керування верстатами з числовим програмним управлінням, на яких виготовляють елементи металоконструкцій, тобто здійснюється перехід від CAD до CAM.

Таким чином, можемо виділити декілька основних напрямів розвитку сучасних проектувальних систем:

- графічні системи (типу AutoCAD), що мають потужний апарат для створення на екрані комп'ютера графічного зображення об'єкта і здатні видавати проектні документи, що відповідають лише екранному зображенню;

- графічні системи (типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop), що мають потужний апарат графічного діалогу, який дозволяє створювати за екраном графічну модель об'єкта, що відображає його геометричні та видові властивості, і видають графічну інформацію про об'єкт на основі обробки цієї моделі;

- проблемно-орієнтовані проектувальні системи (типу SCAD, ЛІРА, COSMOS), що мають дружній вузькопрофесійний інтерфейс, добре структуровану цифрову модель об'єкта, ряд чисто проектних процедур, проте вирішують обмежений клас проблемних задач і вимагають від користувача глибоких професійних знань у предметній області;

- проектувальні системи, орієнтовані на максимальне використання можливостей системи «спеціаліст-комп'ютер», що включає розвиток моделі об'єкта, дружній інтерфейс, спеціалізовану експертну систему, базу знань і відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій (типу МОНОМАХ);

- інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта.

Уже зараз розробки проектувальних систем SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ ведуться із врахуванням їх інформаційного зв'язку з ЦМО. На сьогодні розроблена технологічна лінія, що включає архітектурні системи (ArchiCAD, Architectural Desktop), конструювальні системи (SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ), спрощену цифрову модель об'єкта, автоматизовану систему підрахунку об'ємів робіт (АРКО) і кошторисні системи (Тендер-Контракт, АВК, будівельні технології).

## **2. Огляд сучасних розрахункових програмних комплексів.**

Сучасні промислові програмні продукти, орієнтовані на розв'язання задач проектування конструкцій, умовно можна поділити на три групи:

1. Обчислювальні системи, призначені для міцнісного аналізу конструкцій.

2. Програми для виконання перевірок несучої здатності елементів конструкцій на відповідність чинним нормам проектування.

3. Проектувальні програми, що виконують формування та випуск робочих креслень, специфікацій та інших матеріалів, передбачених проектом.

Умовність такого поділу пояснюється тим, що до складу обчислювальних систем можуть входити, наприклад, модулі для підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій чи перевірки перерізів металевих конструкцій, а до складу програм другої групи – модулі випуску робочих креслень.

Крім того, існує велика кількість допоміжних програм, що використовуються для інформаційної підтримки процесу проектування, наприклад, бази даних матеріалів, сортаменти металопрокату, арматури тощо, електронні довідники з нормативною документацією, а також спеціалізовані програми для формування та розрахунку перерізів, встановлення значень навантажень і впливів, обчислення коефіцієнтів пружної основи та ін. Допоміжні програми можуть бути автономними або мати інформаційний зв'язок з іншими програмами.

Список програм першої групи, призначених для розв'язання міцнісних задач будівельної механіки, вражає своїм розмаїттям та широтою функціональних можливостей. Спільним для всіх цих програм є використання для розрахунку методу скінченних елементів і наявність розвинених графічних засобів створення розрахункової моделі та аналізу результатів. Тут присутні потужні універсальні обчислювальні системи, такі, наприклад, як ANSYS, ADINA, COSMOS, NASTRAN, не прив'язані до якоїсь певної сфери застосувань. Їхню відмінну особливість становить орієнтація на багатодисциплінарність проблеми (пружність, пластичність, теплофізика, магнітодинаміка, гідрогазодинаміка та ін.) і на розв'язання задач із сотнями тисяч і мільйонами невідомих.

Існує велика кількість систем, орієнтованих на міцнісний аналіз конструкцій будівель та споруд. Серед них такі популярні в Україні системи, як ЛПА та SCAD, зарубіжні програми SAP 2000, GTSTRUDL, STAD, ROBOT та ін. Їхня особливість полягає у тому, що графічні засоби створення розрахункової схеми (препроцесор) та аналізу результатів (постпроцесор) зорієнтовані на специфіку проектування об'єктів будівництва. Крім того, до них підключаються каталоги профілів та матеріалів, використовуваних у будівництві, вони містять специфічні модулі аналізу (наприклад, для побудови ліній впливу, обчислень із врахуванням сейсмічних впливів та пульсацій вітрового навантаження тощо).

Особливу популярність у проектувальників здобули об'єктно орієнтовані програми для перевірки елементів конструкцій на відповідність вимогам норм проектування (ми віднесли їх до другої групи). Інколи їх називають "калькуляторами". Ці програми можуть бути

спеціалізованими та перевіряти елементи певного виду (наприклад, тільки елементи сталевих конструкцій). До них можна віднести КРИСТАЛ, АРБАТ, які входять до складу інтегрованої системи SCAD Office, ПРУСК, Фундамент та ін. Перевагою таких програм є детальна розробка розрахункових положень нормативних документів та простота звернення (зручність користувацького інтерфейсу), що робить їх незамінним інструментом інженерів-проектувальників. Існують також універсальні програми, в яких виконуються перевірки елементів конструкцій різного виду, наприклад, Structural Engineering Library, СПИН. І ті, й інші програми можуть мати засоби для виготовлення креслень, специфікацій, хоча це, найчастіше, ескізи високого рівня готовності, а не готова проектна документація.

Нарешті, до третьої групи входять так звані проектувальні програми та системи, які на основі результатів міцнісного аналізу конструкцій та нормативних розрахунків елементів формують проектну документацію. Серед них можна виділити систему ALLPLOT (система проектування у складі комплексної системи архітектурно-будівельного проектування ALLPLAN), програми МОНОЛИТ та КОМЕТА (у складі SCAD Office), ФОК, модулі БАЛКА, КОЛОННА, ПЛИТА, СТІНА (у складі програмного комплексу проектування конструкцій каркасних будівель МОНОМАХ).

Серед найбільш придатних для проектування будівельних конструкцій варто відзначити ПК: STRAP (Ізраїль), NASTRAN, STRUDL, ANSYS, COSMOS, ADINA (США), DIANA (Голландія), ROBOT (Франція), STARK (Росія), SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ (Україна).

Спеціаліст, який займається безпосередньо проектуванням будівельних об'єктів, звичайно, надасть перевагу тому ПК, що має конструктивні системи, в яких реалізовані стандарти та норми того регіону, для якого спеціаліст виконує проектування.

Американські програми, які мають конструювальні підсистеми (виконують підбір та перевірку перерізів ЗБК і металевих конструкцій, видають робочі креслення), в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи STARK, SCAD і ЛІРА, реалізують Єврокод. У ПК STARK, SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ реалізовані також норми країн СНГ, тому для нашого регіону саме ці ПК є найпривабливішими.

До програм, що реалізують сучасні концепції автоматизованого проектування у середовищі Windows, відносяться: ЛІРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, САПФІР, ЭСПРИ, СОН, SCAD. Нижче наведено короткі відомості про кожну з програм.

### **3. ЛІРА.**

**ЛІРА** – багатофункціональний програмний комплекс, призначений для проектування і розрахунку машинобудівних та будівельних конструкцій різного призначення. Розрахунки в програмі виконуються як

на статичні, так і на динамічні впливи. Основою розрахунків є метод скінченних елементів (МСЕ). Різні модулі, що підключаються (процесори) дозволяють робити підбір і перевірку перерізів сталевих і залізобетонних конструкцій, моделювати ґрунт, розраховувати мости і поведінку будівель в період монтажу і т. д.

Програмний комплекс ЛІРА має велику бібліотеку скінченних елементів (стрижневі схеми, оболонки, плити, балки-стілки, мембрани, тенти і т. д.), Набір багатофункціональних процесорів, велику базу сталевих сортаментів. Все це дозволяє розраховувати конструкції будь-якої складності на різні види статичних і динамічних дій. Конструювання залізобетонних і сталевих елементів проводиться відповідно до норм країн СНД, Європи і США (існує підтримка англійської мови на будь-якому етапі роботи, а також різні системи одиниць вимірювань). Інтеграція з САПР і прикладними програмами (AutoCAD, Allplan, Stark SK, ArchiCAD, Microsoft Office, HyperSteel, AdvanceSteel, Vocad, Revit) проводиться за допомогою файлів форматів \*.DXF, \*.MDB, \*.IFC та ін.

### **Спеціалізовані процесори, що підключаються до ПК ЛІРА**

ЛІР-Візор – базова система комплексу, в якій відбувається побудова розрахункової схеми, проводяться всі розрахунки, а також обробляються і документуються результати.

ЛІР-АРМ – базова система комплексу, призначена для конструювання залізобетонних конструкцій.

ЛІР-ЛАРМ – конструювання окремих залізобетонних елементів (дані можуть імпортуватися із ЛІР-АРМ).

ЛІР-СТК – базова система конструювання сталевих конструкцій.

ЛІР-РС – базова система редагування сталевих сортаментів. Дозволяє видаляти / додавати різні профілі металопродукату.

ЛІР-КС – спеціалізований модуль конструювання перерізів різної конфігурації.

ЛІР-КТС – спеціалізований модуль конструювання тонкостінних перерізів.

ЛІР-КМ – модуль, для отримання набору креслень КМ (конструкції металеві) на основі даних, отриманих в ЛІР-Візор. Імпорт в AutoCAD, Vocad, REALSteel, AdvanceSteel.

ГРУНТ – модуль для визначення коефіцієнта постелі, спочатку використовувався в ПК Мономах. Дозволяє з достатньою точністю змоделювати ґрунт підстави за даними геологічних звітів.

МОНТАЖ-ПЛЮС – спеціальних модуль, що дозволяє змоделювати процес монтажу конструкцій.

МОСТ – модуль призначений для розрахунку мостових конструкцій.

ДИНАМІКА-ПЛЮС – розрахунок фізично нелінійних систем.

ВАРІАЦІЇ МОДЕЛЕЙ – дозволяє в рамках однієї розрахункової схеми варіювати не тільки навантаження (традиційний розрахунок), але і жорсткості і умови спирання (при незмінній топології).

### **Питання для контролю знань:**

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 типу SCAD, ЛІРА, COSMOS.
5. •Проектувальні системи типу МОНОМАХ.
6. •Інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта.
7. Задачі проектування конструкцій.
8. Особливості програмного комплексу ЛІРА.
9. Спеціалізовані процесори, що підключаються до ПК ЛІРА.

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

- I. Вивчити матеріал лекції.
- II. Пройти тестування за темою лекції: тест 14.1. за посиланням <https://forms.gle/po7t5FTUseeGVFoK9>
- III. Теми для обговорення:
  1. Робота із ЛІРА-САПР (ВІЗОР-САПР). Створення розрахункових схем.
  2. Імпорт поповерхових планів файлів DXF в модель ПК ЛІРА-САПР.
  3. Способи виділення елементів розрахункової схеми.
  4. Моделювання перемичок, простінків, пілонів.
  5. Автоматична генерація жорстих вставок для стержнів.
  6. Вибір компонентів розрахункової схеми в ПК ЛІРА-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 ЛІРА-САПР.



17. Врахування нелінійної роботи залізобетону в ПК ЛІРА-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 ЛІРА-САПР.
22. Визначення суми теплових потоків, які перетинають досліджувану область.
23. Розв'язання задачі теплопровідності.

*Навчальне видання*

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
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**