

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Методи аналізу ризику та надійності АЕС

Лабораторна робота №2

Дерева відмов

Факультет: Теплоенергетичний

Кафедра: Атомних електричних станцій
і інженерної теплофізики

Спеціальність: «Атомна енергетика»

Дерево відмов. Основні відомості.

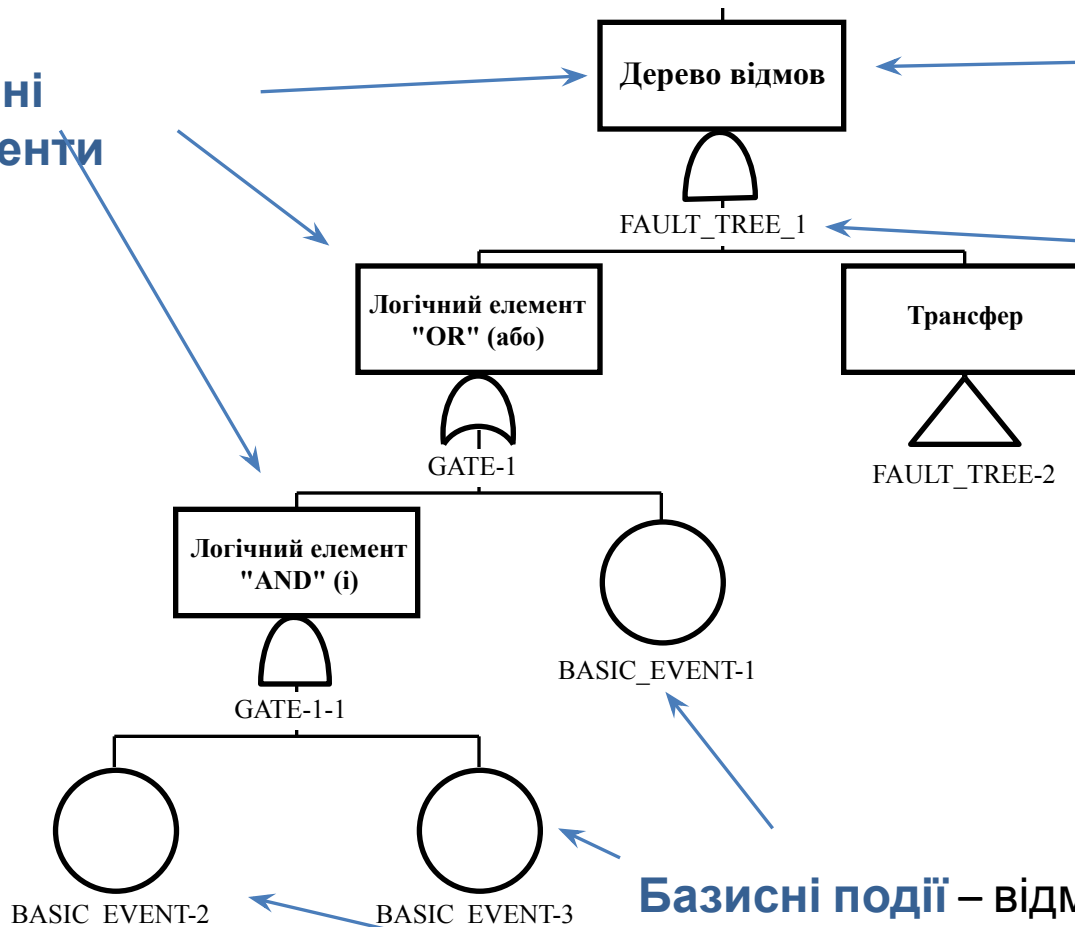
Дерево відмов ДВ (Fault Tree) – представляє собою імовірнісну модель системи, в якій враховано можливі відмови всіх її елементів, їх взаємозв'язок та взаємозалежність.

Дерева відмов використовуються для:

- розрахунку імовірності відмови систем на основі характеристик надійності її елементів;
- вивчення взаємозалежностей між відмовами елементів;
- отримання інформації про «слабкі місця» систем.

Структура дерева відмов

Логічні
елементи



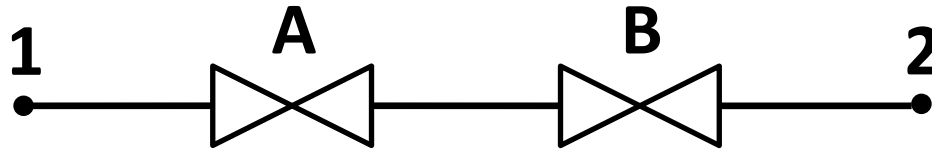
Логічний елемент з якого починається дерево відмов називається **верхньою подією (Top event)**

Маркування верхньої події є назвою дерева відмов.

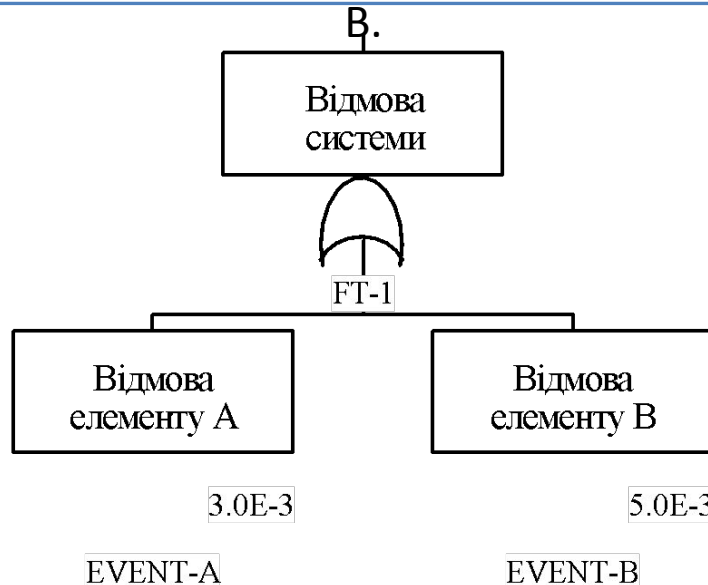
Трансфер – перехід до іншого дерева відмов (*FAULT_TREE_2*).

Базисні події – відмови обладнання, помилки персоналу, відмови через загальні причини, неуспішні дії персоналу по відновленню працездатності обладнання.

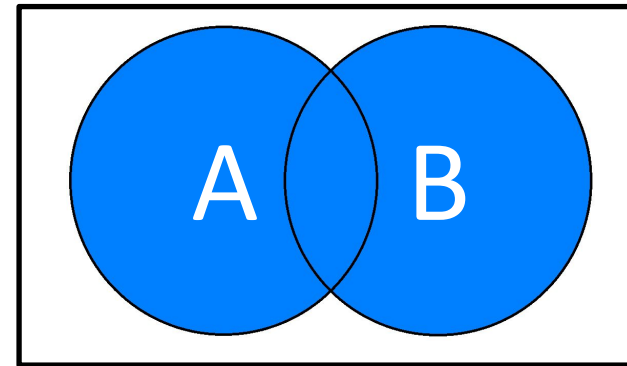
Логічний елемент "OR" ("або")



Канал системи відмовить, якщо відмовить хоча б один з елементів А або В.



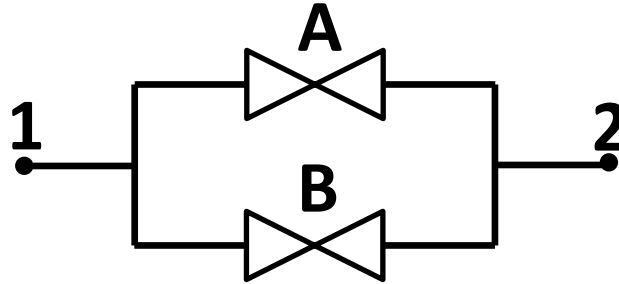
Логічний елемент "OR" являє собою об'єднання подій А і В.



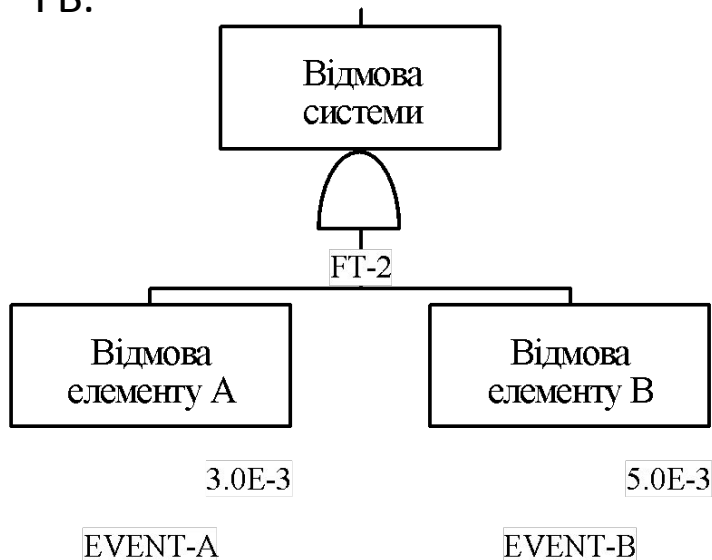
У ІАБ події не є взаємовиключними. Відповідно, імовірність відмови елементу А або В становить:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

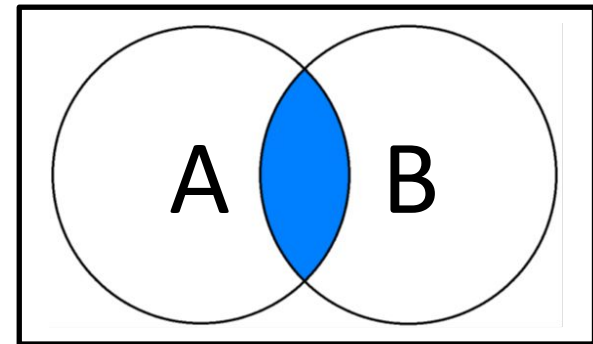
Логічний елемент "AND" ("і")



Канал системи відмовить, якщо відмовлять елементи A і B.



Логічний елемент "AND" являє собою переріз подій A і B.



У ІАБ події є незалежними. Відповідно, імовірність відмови обох елементів A і B становить:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

Обладнання та види його

ВІДМОВ

Насос (Pump – PMP), дизель-генератор (DG):

- **відмова на запуск (failure to start – FS).** До цього типу відмови також відноситься вихід з ладу обладнання протягом 30 хвилин після запуску по причині самовільного відключення, підвищення вібрації, температури і т.д.;
- **відмова на виконання функцій** протягом заданого часу роботи (24 год.) (failure to run – FR);

Арматура:

засувка, регулятор – **motor operated valve (MOV);**

зворотні клапани – **check valve (CV);**

запобіжні клапани – **relief valve (RV).** Відмови арматури:

- **відмова на відкриття (failure to open – FO)** – відмова, в результаті якої не відкривається або відкривається неповністю (неповний прохідний переріз);
- **відмова на закриття (failure to close – FC)** – відмова, в результаті якої арматура не закривається або закривається не повністю;

Бак, ємність (Tank – TNK), теплообмінник (heat exchanger – HE):

- **теча (leakage – LK),** розміри якої роблять неможливим виконання функцій безпеки

Маркування базисних подій у ДВ

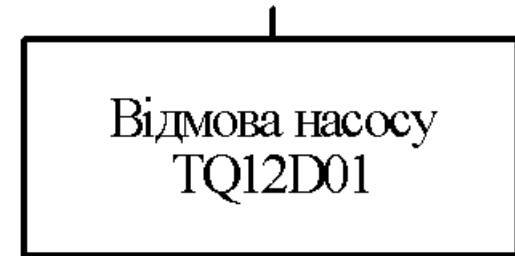
Під час моделювання відмов елементів систем та дій персоналу у ДВ використовують спеціальне маркування базисних подій, яке дозволяє ідентифікувати основну необхідну інформацію про елемент, що моделюється.

При моделюванні елементів систем будемо використовувати маркування базисних подій, яке має наступну структуру:

[система до якої відноситься елемент] – [обладнання] – [тип відмови].

Наприклад:

базисна подія **TQN2-TQ12D01-FS** – відмова на запуск (failure to start – FS) насосу 1 каналу (TQ12D01) системи CAO3 HT (TQN2).



TQN2-TQ12D01-FS

Врахування відновлювальних дій та відмов через загальні причини у ДВ

Окрім відмов обладнання систем та помилок персоналу в ДВ слід враховувати:

- дії персоналу по відновленню працездатності обладнання (відновлювальні дії персоналу – ВДП) (*recovery actions – RA*);
- відмови обладнання через загальні причини (ВЗП) (*common cause failure – CCF*).

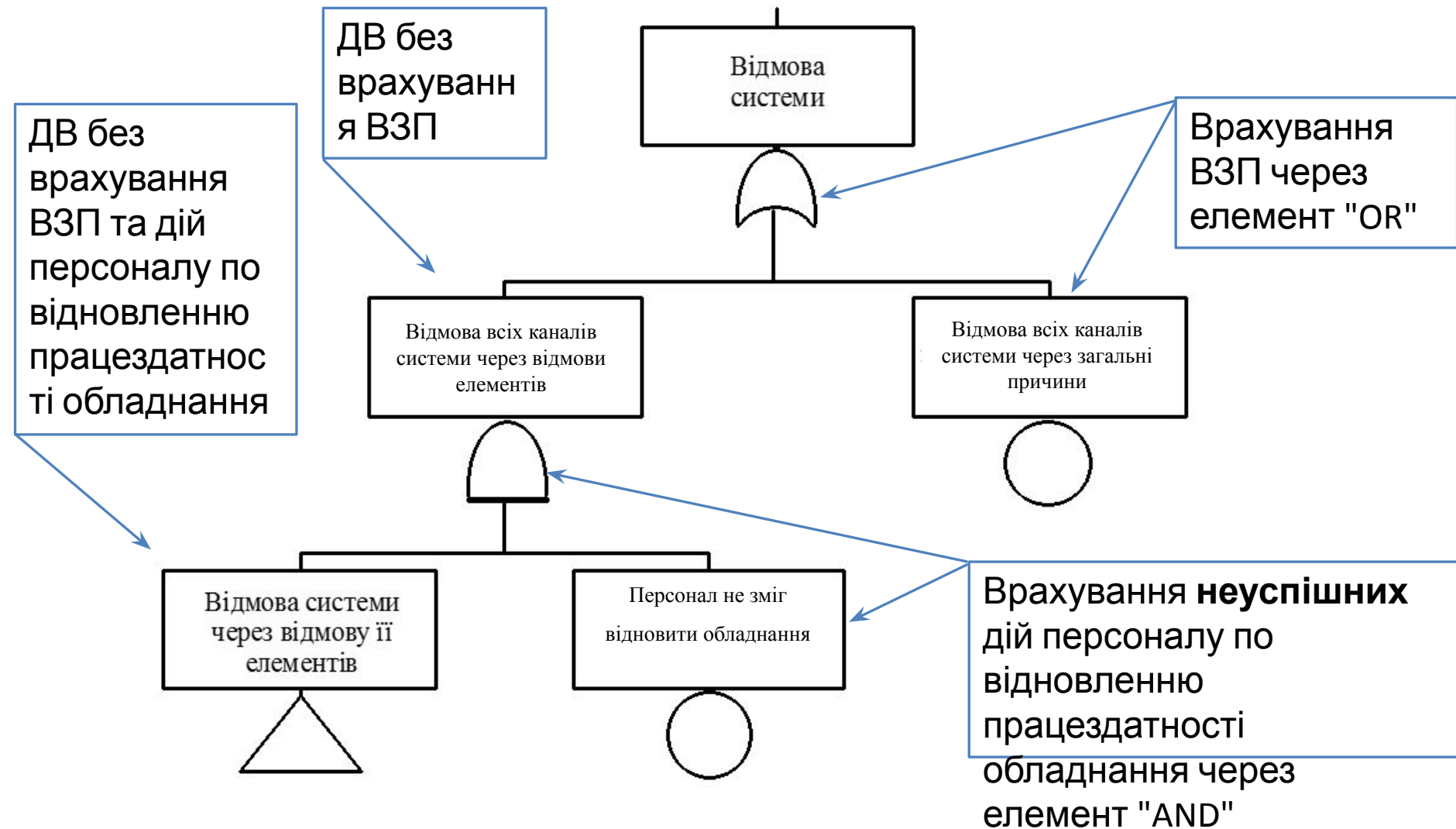
У ДВ відмови через загальні причини враховуються для **однотипних** відмов:

- **SYSTEM1-MOV-CCF** (відмови засувки через загальні причини);
- **SYSTEM1-PMP-CCF** (відмови насосів через загальні причини).

Аналогічно для дій персоналу по відновленню працездатності обладнання:

- **SYSTEM1-MOV-RA** (неуспішні дії персоналу по відновленню працездатності засувки);
- **SYSTEM1-PMP-RA** (неуспішні дії персоналу по відновленню працездатності насосів).

Врахування відновлювальних дій персоналу та відмов через загальні причини у ДВ



Розробка ДВ для системи CAO3 НТ

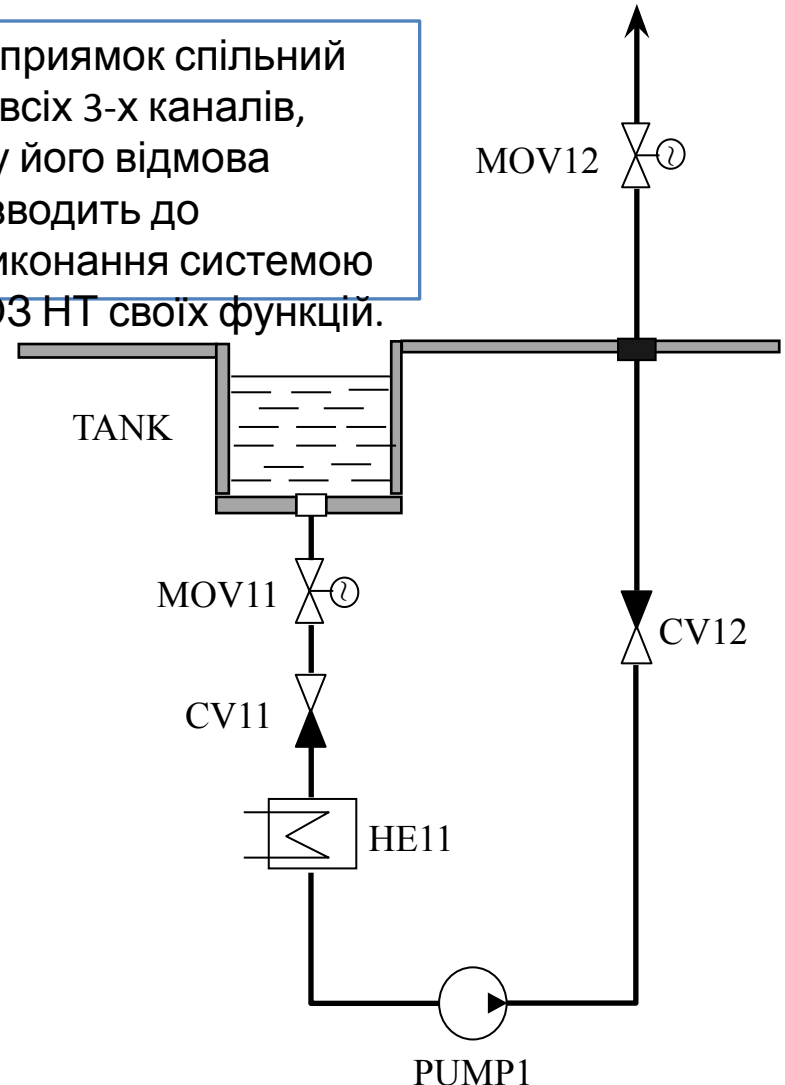
(Low Pressure Safety Injection System (LPI))

На рисунку наведена спрощена схема 1/3 каналів системи CAO3 НТ.

Умови:

1. Критерій успіху – подача РБК від 1/3 каналів CAO3 НТ.
2. При побудові ДВ врахувати наступні відмови:
 - бак-прямок, теплообмінники – течя (LK);
 - насоси – відмови на запуск (FS), на роботу (FR);
 - засувки, зворотні клапани – відмова на відкриття (FO);
 - відмови через загальні причини (ВЗП) (CCF):
 - для насосів – врахувати на рівні системи;
 - для арматури – для кожного каналу окремо;
 - неуспішні відновлювальні дії персоналу (ВДП) (RA) – невраховувати для випадків відмов через загальні причини та течій теплообмінників і баків

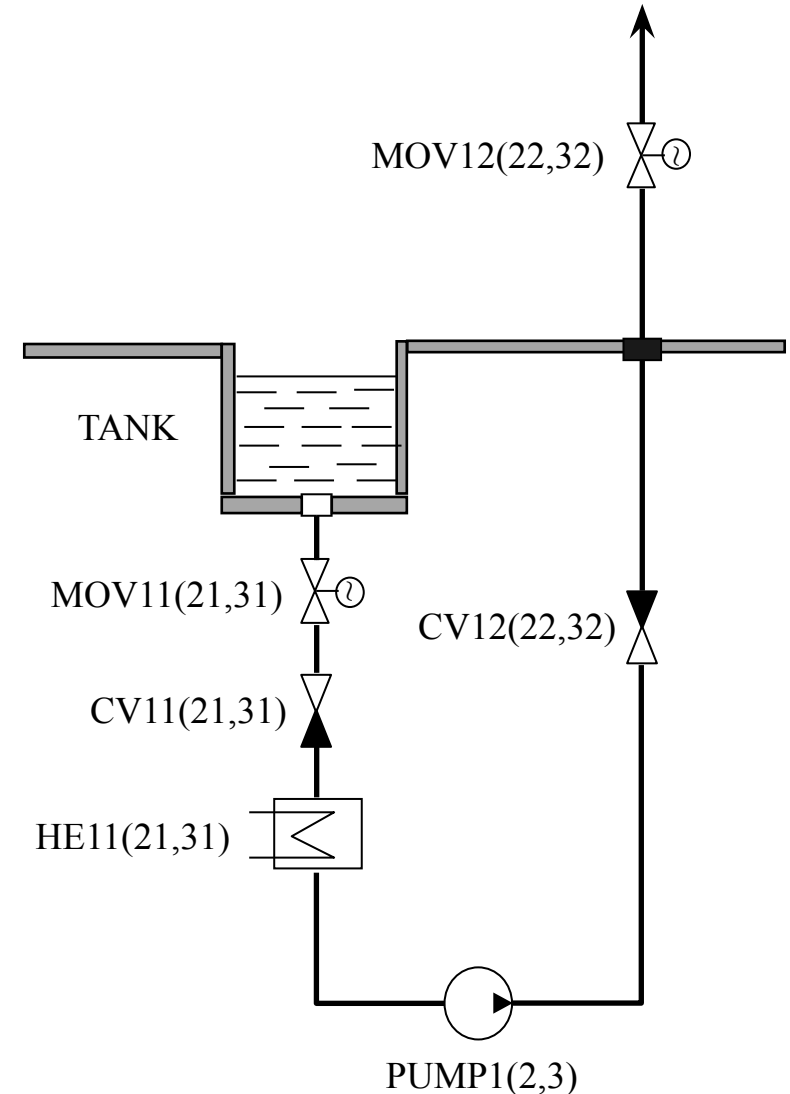
Бак-прямок спільний для всіх 3-х каналів, тому його відмова призводить до невиконання системою CAO3 НТ своїх функцій.



Розробка ДВ для системи CAO3 НТ (Low Pressure Safety Injection System (LPI))

Перелік базисних подій ДВ "LPI"

Маркування БП	Опис БП
LPI-PUMP-CCF	ВЗП насосів CAO3 НТ
LPI-MOV1-CCF, LPI-MOV2-CCF, LPI-MOV3-CCF	ВЗП засувок 1 (2, 3) каналу
LPI-RA	Неуспішні ВДП
LPI-TNK-LK	Теча бака-приямка
LPI-HE11-LK, LPI-HE21-LK, LPI-HE31-LK	Теча теплообмінника аварійного розхолодження
LPI-PMP1-FS, LPI-PMP2-FS, LPI-PMP3-FS	Відмова на запуск насосу CAO3 НТ
LPI-PMP1-FR, LPI-PMP2-FR, LPI-PMP3-FR	Відмова насосу CAO3 НТ в роботі
LPI-MOV11-FO, LPI-MOV21-FO, LPI-MOV31-FO, LPI-MOV12-FO, LPI-MOV22-FO, LPI-MOV32-FO	Відмова засувки на відкриття
LPI-CV11-FO, LPI-CV21-FO, LPI-CV31-FO, LPI-CV12-FO, LPI-CV22-FO, LPI-CV32-FO	Відмова зворотного клапану на відкриття



Дякую за увагу!

Питання?

Остапенко Іван Анатолійович
[mailto: i.ostapenko.kpi@gmail.com](mailto:i.ostapenko.kpi@gmail.com)

ДОДАТКОВА ТЕОРЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ ПО ДЕРЕВАМ ВІДМОВ

Елементи теорії множин

Множина – являє собою **сукупність елементів**, що мають певні специфічні характеристики.

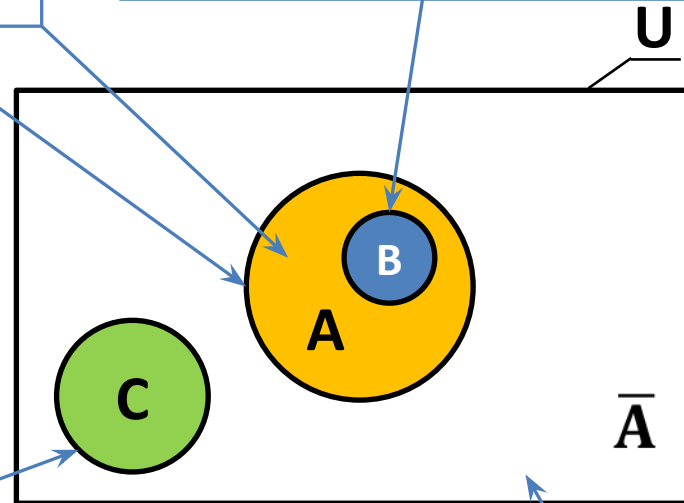
Підмножина – це множина елементи, якої належать до іншої множини. $B \subset A$

Універсальна множина – це множина, яка містить всі елементи, що представляють для нас інтерес.

Позначається U .

Дві множини A і C називаються **взаємовиключними або непересічними**, якщо вони не мають спільних елементів.

Наведений спосіб графічного представлення множин називають **діаграмою Венна (Ейлера-Венна або Ейлера)**.

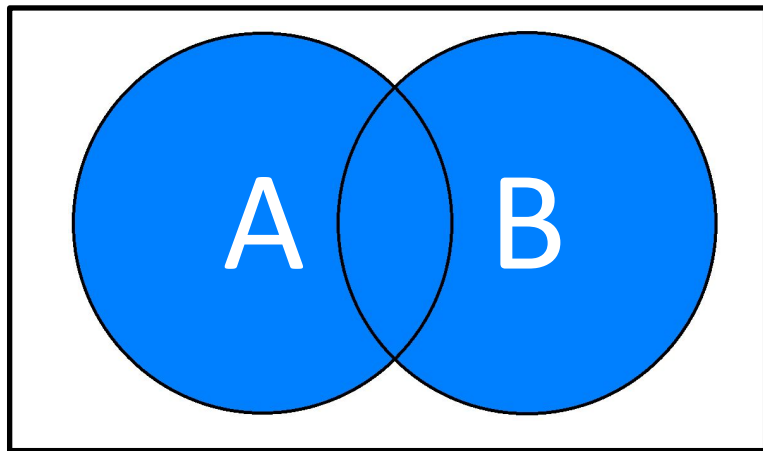


Доповнення множини A це сукупність всіх елементів універсальної множини U , які не входять у множину A . Позначається як $\bar{A}$.

Об'єднання і переріз множин

Об'єднання (Union) двох множин, A і B являє собою множину, елементи якої належать до будь-якої з двох підмножин A чи B .

Позначається як $A \cup B$ або $A + B$.



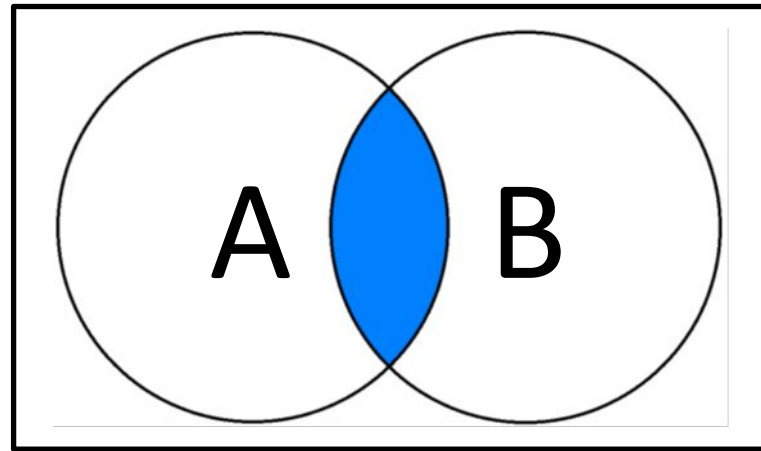
A or B

$A + B$

$A \cup B$

Переріз (Intersection) двох множин, A і B являє собою множину, елементи якої належать одночасно до двох підмножин A і B .

Позначається як $A \cap B$ або $A \cdot B$.



A and B

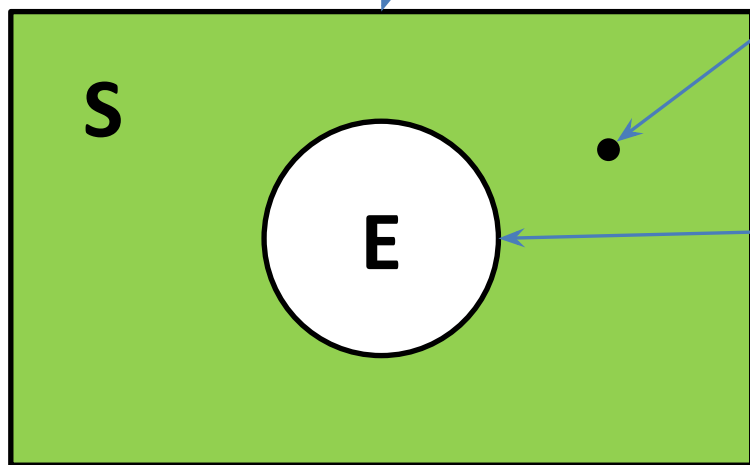
$A \cdot B$ або AB

$A \cap B$

Для того, щоб зрозуміти зв'язок між множинами і подіями розглянемо експеримент із невизначеним результатом – «кидання грального кубика»...

Сукупність всіх можливих результатів експерименту утворює множину, яка називається **простором елементарних подій (sample space – S)**. Для нашого випадку простір елементарних подій складається із наступних результатів: $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

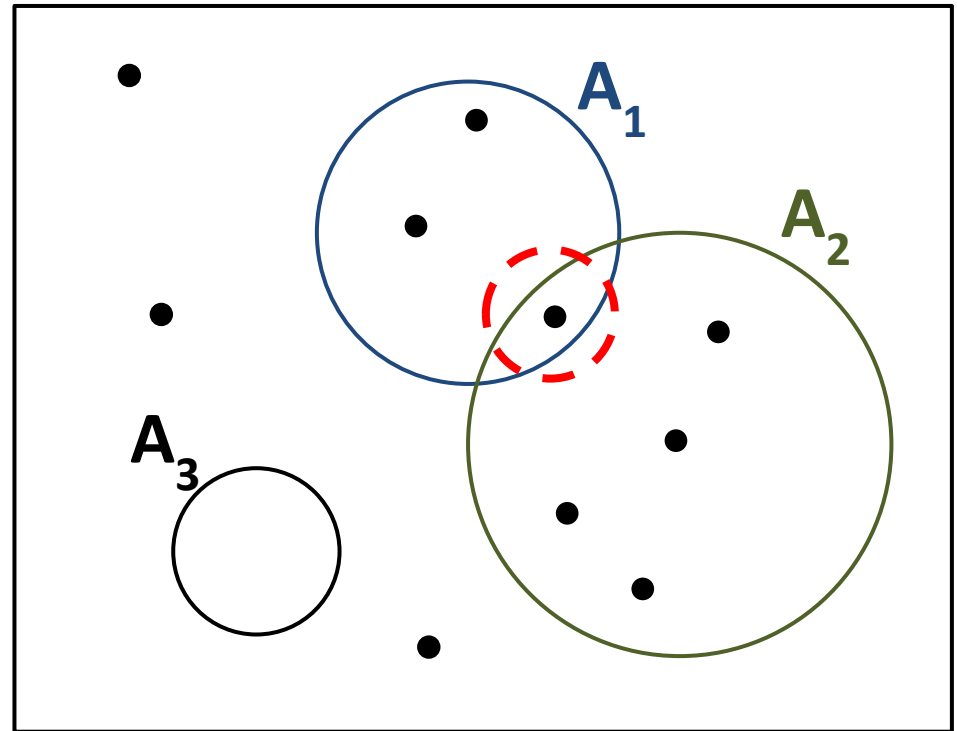
Кожен можливий результат експерименту називається **елементарною подією (sample point)**. Для нашого випадку елементарною подією буде випадання числа від 1 до 6.



Множина, яка включає в себе певну сукупність елементарних подій називається **подією (event – E)**. Прикладом може бути подія «випадання парного числа при киданні грального кубика», яка включає в себе наступні елементарні події: $\{2, 4, 6\}$.

Приклад представлення подій за допомогою діаграми Венна.

- Подія A_1 має 3 результати.
- Подія A_2 має 5 результатів.
- Об'єднання подій A_1 та A_2 має 7
- Переріз подій A_1 та A_2 має 1
- Подія A_3 не має результатів.
- Події A_3 та A_1 , A_3 та A_2 є взаємовиключними



Розрахунок імовірності об'єднання двох подій

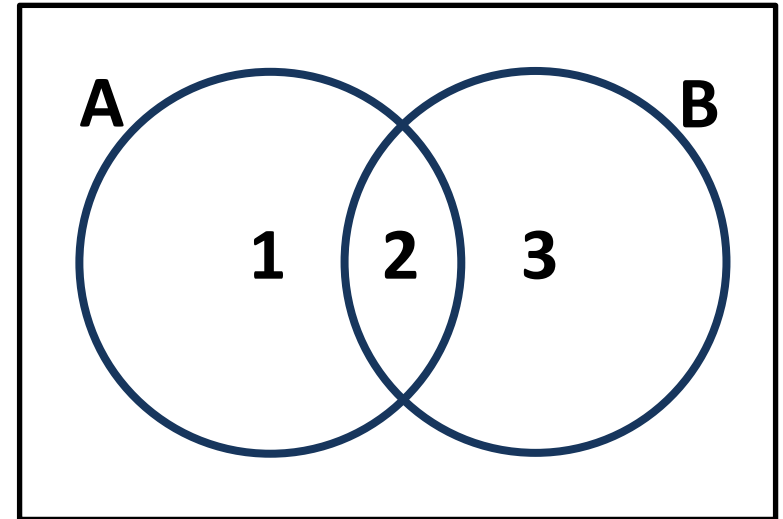
$$P(A \cup B) = P(1) + P(2) + P(3)$$

$$P(A) = P(1) + P(2)$$

$$P(B) = P(2) + P(3)$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(2)$$

$$P(2) = P(A \cap B)$$



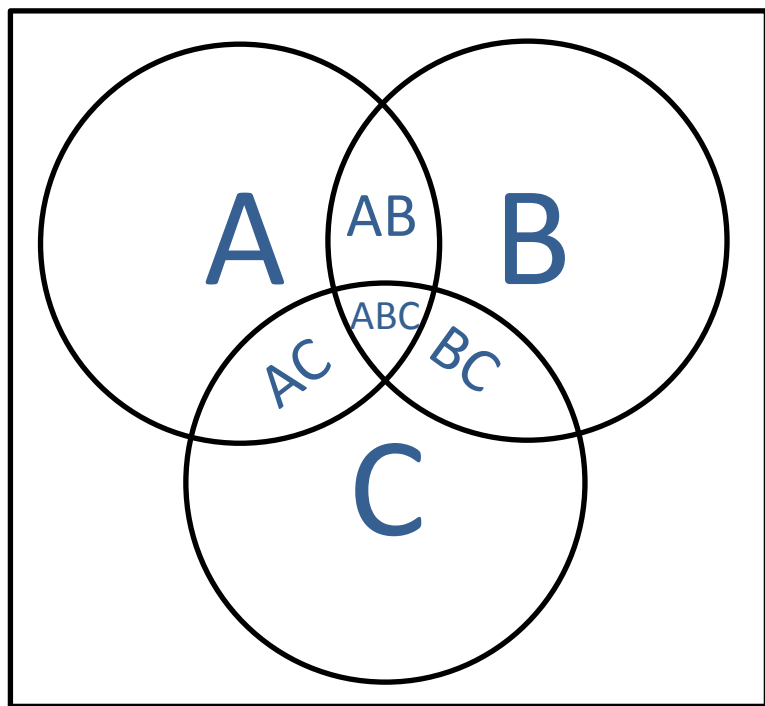
Відповідно

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Розрахунок імовірності об'єднання для трьох подій

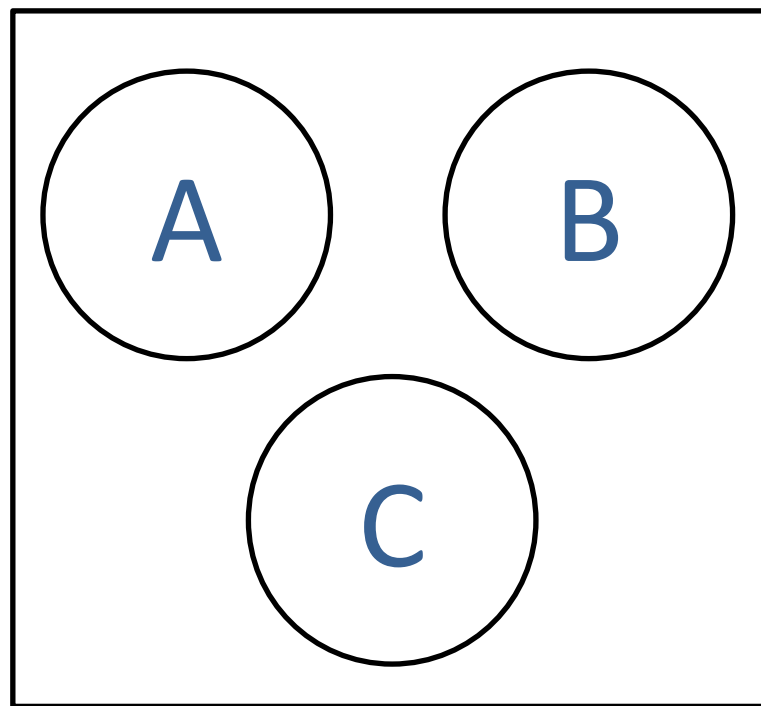
Для трьох невізаємовиключних подій:

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(B \cap C) - P(A \cap C) + P(A \cap B \cap C)$$



Для трьох взаємовиключних подій (переріз цих подій порожній):

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C)$$



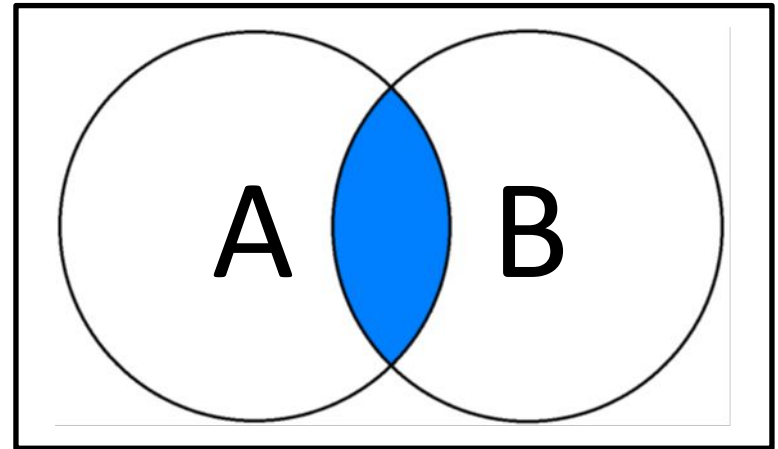
Розрахунок імовірності перерізу для двох подій

Якщо події A і B залежні одна від одної (настання події A впливає на імовірність реалізації події B і навпаки):

$$P(A \cap B) = P(A|B) \cdot P(B)$$

$P(A|B)$ – умовна імовірність реалізації події A за умови, що подія B уже відбулася.

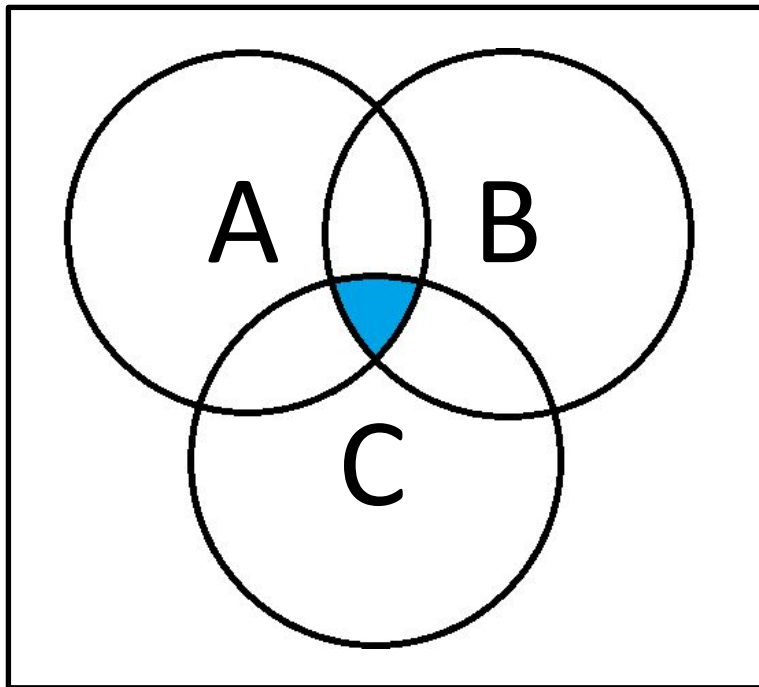
$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$



Розрахунок імовірності перерізу для трьох подій

Для трьох залежних подій:

$$P(A \cap B \cap C) = P(C | A \cap B) \cdot P(A \cap B) = \\ = P(C | A \cap B) \cdot P(B | A) \cdot P(A)$$



Якщо настання події A не впливає на імовірність реалізації події B, і навпаки, то такі події називаються **незалежними**.

Для незалежних подій:

$$P(A | B) = P(A) \text{ і т. д.}$$

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \text{ і т. д.}$$

Імовірність перерізу для трьох незалежних подій:

$$P(A \cap B \cap C) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$$