

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики  
Кафедра моделювання складних систем

**Кваліфікаційна робота  
на здобуття ступеня бакалавра**

за спеціальністю 113 Прикладна математика  
на тему:

**ЙМОВІРНІСНІ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ  
РИЗИКОМ**

Виконав студент 4-го курсу  
Скороход Сергій Володимирович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник:  
доцент, доктор технічних наук  
Бегун Василь Васильович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ</b> .....	<b>2</b>
<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ</b> .....	<b>3</b>
<b>ВСТУП</b> .....	<b>4</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ</b> .....	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА МЕТОДІВ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ДТП</b> .....	<b>7</b>
2.1 Огляд існуючих програмних рішень.....	7
2.2 Методи оцінки ризиків ДТП.....	9
2.3 Висновок до розділу .....	13
<b>РОЗДІЛ 3. ОПИС МЕТОДУ</b> .....	<b>14</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ЗБІР СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ</b> .....	<b>16</b>
4.1 Збір статистичних даних .....	16
4.2 Статистика ДТП за останні 4 роки.....	17
4.3 Відбір факторів, що увійдуть до моделі .....	19
4.4 Висновок до розділу .....	23
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ</b> .....	<b>24</b>
5.1 Опис моделі .....	24
5.2 Висновки до розділу .....	29
<b>РОЗДІЛ 6. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b> .....	<b>31</b>
Висновки до розділу .....	37
<b>ВИСНОВОК</b> .....	<b>38</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	<b>39</b>

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

БП – базисна подія;

ЛЧ – людський чинник;

ЛТДС – система «людина – транспортний засіб – дорога – середовище»;

ГГЦ – головний гальмівний циліндр;

РОП – ризик-орієнтовний підхід;

ДП – дерево подій;

ДВ – дерево відмов;

ТЗ – транспортний засіб;

ПДР – правила дорожнього руху;

ПЗ – програмне забезпечення.

## ВСТУП

З розвитком обчислювальної техніки та ймовірнісних методів аналізу на основі вивчення складних систем з метою визначення ризиків та способів їх попередження на основі моделювання стало можливим використання ризик-орієнтовного підходу (РОП). Він лежить в основі сучасних методів управління ризиками в складних системах. Ризик визначається за допомогою моделювання для його кількісної оцінки, визначення ймовірності виникнення аварій та руйнівної сили їх наслідків на діяльність системи. Спираючись на знання, що засновані на дослідженні ймовірнісної моделі можливо достовірно оцінити небезпеку досліджуваного об'єкта. Для отримання чіткої оцінки безпеки потрібно враховувати багато чинників, які на неї впливають. Головним критерієм реалізації безпеки та однією з головних проблем підприємств є ризик несприятливих подій.

Зокрема потрібно розглянути, які фактори впливають негативно на безпеку **переміщення** транспорту.

Побудова ймовірнісних моделей ґрунтуються на повних знаннях структури та всіх процесів, що там проходять. Головна перевага ймовірнісної моделі в тому, що в ході дослідження системи виділяються найбільш ймовірні небезпечні події, виділяються події, що є найважливішими.

### **Актуальність роботи та підстави для її виконання.**

За останні роки травмується внаслідок аварій від 30 до 35 тисяч людей на рік. Кожного року в Україні гине велика кількість людей. Рівень безпеки дорожнього руху в нашій країні значно нижчий порівняно з країнами Європи. Це вимагає розроблення стратегії щодо зменшення ризику ДТП в Україні. Тому була обрана саме ця тема для кваліфікаційної роботи.

## **Мета й завдання роботи.**

Метою кваліфікаційної роботи є створення ймовірнісної моделі складної системи для управління ризиком. Для досягнення мети роботи були поставлені такі завдання:

- Проаналізувати існуючі рішення та методи оцінки ризику;
- Обрати та описати один з методів оцінки ризиків ДТП;
- Зібрати статистичні дані по ДТП за останні роки;
- Відібрати фактори, що увійдуть до математичної моделі;
- Розробити математичну модель;
- На основі математичної моделі виконати розрахунки.

## РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В усіх сферах життєдіяльності людини має місце небезпека та пов'язані з нею втрати, ризику. Для забезпечення нормального функціонування усіх складових життя потрібно розробляти різні методи та механізми управління ризиком, його прогнозування та регулювання. Управління ризиком полягає в виявленні факторів, що підвищують рівень небезпеки і застосуванні заходів, що змінюють їх та знижують ризик виникнення цих факторів. Одним з факторів виникнення ДТП є несправність транспортного засобу, що приймає участь в дорожньому русі. Зокрема вихід з ладу гальмівної системи автомобіля та унеможливлення запобігти зіткненню водієм несправного ТЗ.

Саме тому було поставлено задачу розглянути та дослідити ймовірність виникнення небажаної події: «Відмова гальм під час руху», що є підсистемою більш складного процесу ДТП. Для цього розглянути принцип роботи гальмівної системи автомобіля та відібрати фактори, що увійдуть до математичної моделі. На основі принципової схеми роботи гальмівної системи та дослідження кожного з елементів визначити, які події можуть призвести до небажаної події. Визначити, які події є базисними та побудувати дерево відмов системи. На основі складеного дерева відмов за допомогою програмного забезпечення виконати розрахунки ймовірності виникнення небажаної події. Скласти таблицю мінімальних перерізів та таблицю важливості подій. Зробити висновки.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА МЕТОДІВ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ДТП

### 2.1 Огляд існуючих програмних рішень.

Огляд програмних рішень необхідно почати з головних визначень цієї теми. *Ризик* – багатоаспектне, складне явище. Він проявляється у всіх сферах життєдіяльності, особливо в тих, що стосуються безпеки людини, зокрема і в транспортній галузі. Загальноприйняте визначення цього поняття – це те, що ризик визначається добутком імовірності виникнення можливого збитку на очікуваний розмір збитку.

Прийнятний рівень ризику щодо корисних наслідків роботи об'єкта, який піддається ризику називається *безпекою*.

Існують дві інтерпретації імовірності. Це частотна ймовірність та суб'єктивний підхід. Розглянемо обидві з них.

*Частотна ймовірність* (емпіричний підхід) визначена формулою:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} (X/n),$$

де  $X$  – число випадків, що відбулися з 'n' проведених дослідів. Для фіксованого 'n' величина  $P(A)$  – відносна, тому при збільшенні кількості числа 'n' наша оцінка ймовірності покращується та ми отримуємо більш точні значення.

*Суб'єктивний підхід* можна пояснити на прикладі підкидання монетки. Згідно з симетрією монети ми припускаємо, що шанс випадіння орла при підкиданні становить 0.5. Ця ймовірність лише наше переконання, але ця ймовірність може не співпасти з емпіричним підходом.

*Ймовірність* виникнення небезпеки – це величина, що є значно меншою за одиницю. До того ж точки виникнення небезпеки нерівномірно розподілені.

Тому величина ймовірності одного ДТП значно вище за ймовірність виникнення декількох ДТП поспіль. Тому чим більший проміжок часу для досліджень взяти, тим величина ризику буде точнішою.

Одним з головних понять в сучасному прогнозуванні виникнення ДТП або інших несприятливих подій в житті є *невизначеність*. При неповноті чи неточності даних існують чинники, ступінь впливу яких на розглядувану модель визначити практично неможливо. Тобто, якщо ми маємо недостатню інформацію про значення майбутніх параметрів, що є наслідками різних причин, а найчастіше неточністю інформації про умови реалізації рішення, що приймається ще на початковій стадії дослідження. Ті ж фактори, про які є вся потрібна інформація називають *конкретними*.

*Ризик-орієнтований підхід* (РОП) – підхід у галузі безпеки, що ґрунтується на такому положенні, що будь-які небезпеки мають однакову логіку розвитку подій та природу виникнення, незважаючи на сферу життя, що розглядається.

Основні його завдання:

- розроблення методів оцінювання ступеня небезпеки об'єктів;
- забезпечення надійності складних технічних систем;
- забезпечення безпеки людей та навколишнього середовища.

Для того, щоб знизити ризик виникнення небезпеки на тому чи іншому об'єкті потрібно докласти досить великих зусиль (трудових, наукових та фінансових).

На даний момент ми можемо управляти ризиком. Тобто шукати деякий компроміс між витратами на зменшення ризику чи збитку та прибутком (вигодою), який ми отримуємо в наслідок використання цих об'єктів.

Очікуване значення результату діяльності об'єкту можемо вирахувати за формулою:

$$E = \sum_{i=1}^n P * X$$

Тут  $P_i$  – ймовірність  $i$ -тої події,  $X_i$  – значення  $i$ -тої події,  $n$  – кількість можливих подій.

До найефективніших методів кількісного аналізу небезпек відносять побудову дерева подій (ДП) та дерева відмов (ДВ). Досить великі побудови, для аналізу яких потрібно досить багато часу й трудових ресурсів – головний недолік цих методів.

В моделях потрібно враховувати людський чинник. Людський чинник – це всі причини ризику, причини виникнення небезпеки, які пов'язані з помилками оператора (людини). Згідно статистики людський чинник є причиною:

- 95% виникнення ДТП;
- 80-90% порушень роботи ТЕС;
- 70-80% нещасних випадків на транспорті загалом;
- 55-65% аварій літаків;
- 50-60% нещасних випадків у побуті.

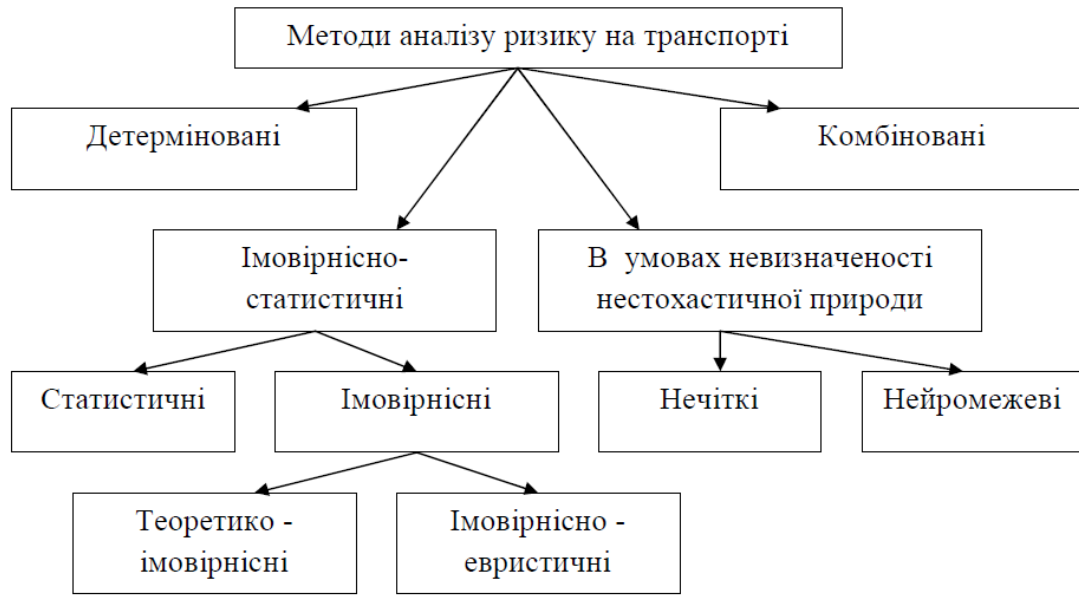
Людський чинник має два види проявів:

- постійно (захворювання, ушкодження нервової системи, алкоголізм, наркоманія, аутизм, психічні захворювання);
- у певні періоди (втома, зміни емоційного тону, недосвідченість оператора, необережність оператора)

## **2.2 Методи оцінки ризиків ДТП**

Для нормування ризику безпеки в транспортній галузі існує досить багато підходів (так само як і в галузях екологічної та промислової безпеки). Я хотів би виділити чотири основні з них:

- імовірнісний;
- детермінований;
- в умовах невизначеності нестохастичної природи;
- комбінований.



Почнемо з детермінованих методів оцінки. Вони базуються на розподілі надзвичайних ситуацій, кількості ДТП на категорії та класи за ступенем небезпеки. Ці категорії визначаються параметром, який характеризує небезпечні параметри, кількість постраждалих, загиблих та шкоду, яку нанесла надзвичайна ситуація. Також встановлюється конкретне кількісне обмеження на ці класи.

Основа цих методів – аналіз етапів розвитку ДТП, використовуючи послідовність передбачуваних умов, починаючи від початкової події до наслідків. За допомогою математичних імітаційних моделей досліджується напрямок аварійного процесу та всі можливі наслідки небажаної події.

Очевидно, що в цих методах оцінки ризиків є досить серйозні недоліки, тому що:

- досить складно побудувати достатньо серйозну математичну модель;
- експериментальні дослідження, що необхідні складні та дорогі;
- дуже часто не враховуються та не реалізуються можливі шляхи розвитку ДТП. Вони можуть бути важливими в досліджуваній моделі.

Якщо в нас немає або недостатня кількість інформації про процес виникнення та розвиток ДТП, якщо природа аварійної події пов'язана з помилками водія, тоді для опису невизначеності причини ризику використовують методи в умовах невизначеності нестохастичної природи.

Інший метод – імовірнісний. За визначенням цей підхід полягає в кількісній залежності між небезпечними факторами, матеріальною шкодою та ймовірністю реалізації цих небезпек з врахованими захисними заходами. Саме тому він більш кращий та модернізований для знаходження оптимальних варіантів рішень.

Імовірнісний метод вимагає дуже багато даних моделі, що робить його більш складним. Наприклад, для покращення результатів досліджень моделі це можуть бути дані про надійність обладнання автомобіля, дані про водіїв та їх психологічний стан або стан здоров'я, статистика по кількості ДТП за участю авто конкретної моделі. Найбільш складно правильно врахувати людський чинник (далі – ЛЧ), щоб система ЛТДС була надійною. Це і є головним недоліком цього методу оцінки ризику.

Використовуючи ймовірнісно-статистичний метод можна як розрахувати відносну імовірність різних шляхів розвитку моделі, так і оцінити ймовірність виникнення ДТП. В ході цього методу вибирається відповідний математичний апарат, аналізується дерево умов та факторів подій, проводиться повна оцінка ймовірності виникнення ДТП.

Імовірнісний підхід допускає певний ризик за умови підтримки певного рівня безпеки досліджуваної моделі, тим самим не допускаючи, впливу небезпечних факторів дорожнього середовища на життя людей з імовірністю в межах норми.

Метод імовірностей на сьогодні вважається одним з найперспективніших. Існують різні методики оцінки ризиків виникнення ДТП, що базуються на цьому методі. Їх поділяють на такі:

1. Теоретико-імовірнісні (для оцінки ризиків рідкісних подій, якщо статистичні дані майже відсутні);
2. Статистичні (з назви розуміємо, що ймовірність визначають за наявними статистичними даними);
3. Ймовірнісно-евристичні (використовується суб'єктивна ймовірність, яку одержують за допомогою експертного оцінювання). Цю методику використовують, якщо потрібна оцінка комплексних ризиків від досить великої сукупності факторів, якщо відсутні не лише статистичні дані а й математична модель (або її точність є досить низькою).

За характером інформації усі вище перераховані методи поділяють на *якісні* та *кількісні*. Різниця між ними в тому, що методи кількісного аналізу включають в себе розрахунок показників ризику. Для того, щоб провести кількісний аналіз потрібно опрацювати величезний обсяг даних щодо ймовірності, враховувати особливості дорожнього покриття, місця виникнення потенційної аварії, погодніх умов, пір року, тощо. Проведення такого дослідження вимагає виконавців високої кваліфікації. Часто немає необхідності виконувати настільки складні розрахунки, тому що вони зазвичай дають значення ризику з невеликою точністю. Такі розрахунки стають в нагоді тоді, коли потрібно щось порівнювати.

Тому для висновку про рівень безпеки того чи іншого об'єкта існують методи якісного аналізу. Вони вимагають менший обсяг даних і, як наслідок менші витрати праці.

## 2.3 Висновок до розділу

На сьогоднішній день існує досить велика кількість різноманітних методів оцінки ризиків ДТП. В залежності від мети дослідження, постановки задачі та наявності чи відсутності інформації можемо обрати той з методів оцінки, який дасть оптимальний результат з найменшою витратою праці.

Оскільки, в нашій моделі:

- недостатня кількість статистичних даних;
- висвітлені такі події, які стаються вкрай рідко;
- використання точних математичних методів обмежене, то в даній роботі використані ймовірнісно-евристичні методи. Вони також поділяються на якісні та кількісні. Якщо розглядати кількісні методи, то це: метод узгодження групових оцінок, метод бальних оцінок та метод ймовірності суб'єктивної оцінки. До якісних методів відносяться метод аналогій та метод експертного оцінювання.

### РОЗДІЛ 3. ОПИС МЕТОДУ

В даній роботі було обрано ймовірно-евристичний метод, метод експертного оцінювання. Більшість методів науково-технічного прогнозування базуються на припущеннях, що на основі експертної думки можна збудувати адекватну модель об'єкту.

Методи експертних оцінок побудовані на основі проведення опитування групи експертів з метою визначення величин, що необхідні для оцінки ризику даного об'єкта. Експерт повинен мати високий рівень ерудиції, бути здатним давати чіткі відповіді та бути достатньо обізнаним в досліджуваній темі.

Тобто метод експертних оцінок – метод прогнозування, для проведення якого потрібно, щоб експерти чітко визначали мету і завдання, були достатньо компетентними, не обговорювали питання між собою, точно формулювали висновки та результати праці.

Існують колективні та індивідуальні експертні методи.

До індивідуальних належать:

- Інтерв'ю;
- Анкетування;

До колективних:

- Метод комісії;
- Метод Дельфі;
- Метод відстороненого оцінювання;
- Конференція ідей.

Основними перевагами індивідуальних методів є простота організації проведення. Проблема в тому, що експерти обмежені в знаннях саме цієї сфери діяльності, тому більшу поширеність набули колективні методи.

Коллективні методи формують єдину думку серед експертів, які добре орієнтуються в досліджуваному об'єкті.

Методи експертних оцінок можуть застосовуватися в різних сферах діяльності. Це може стосуватися як економічних, фінансових питань, так і питань безпеки та екології.

## РОЗДІЛ 4. ЗБІР СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

### 4.1 Збір статистичних даних

За статистичними даними на тисячу українців припадає приблизно 250 авто, тобто кожен четвертий громадянин нашої країни є власником транспортного засобу. Забезпечення безпеки дорожнього руху є одним з найважливіших питань сучасності. Людські втрати від ДТП негативно впливають не лише на демографічну, а й на соціально-економічну ситуацію країни.

Серед країн Європи Україна посідає перше місце за кількістю ДТП на 100 кілометрів дорожнього покриття. Основними причинами ДТП із загиблими чи травмованими залишається перевищення швидкості, порушення правил маневрування, проїзду перехресть, пішохідних переходів та недотримання дистанції. Як можемо побачити ці причини прямим шляхом відносяться до порушення правил дорожнього руху. Можемо зробити висновок, що найчастіше ДТП виникають через необережність водія або через порушення ПДР з боку водія.

Причинами виникнення ДТП може стати будь-які фактори: погодні умови, стан водія, дорожнє покриття, несправність ТЗ, які не є базисними подіями. Саме тому ми не можемо повністю попередити цю небезпеку.

Для попередження ДТП з боку водія потрібно вчасно усувати несправність ТЗ, починати користування ТЗ лише в гарному фізичному та емоційному стані та не порушувати ПДР.

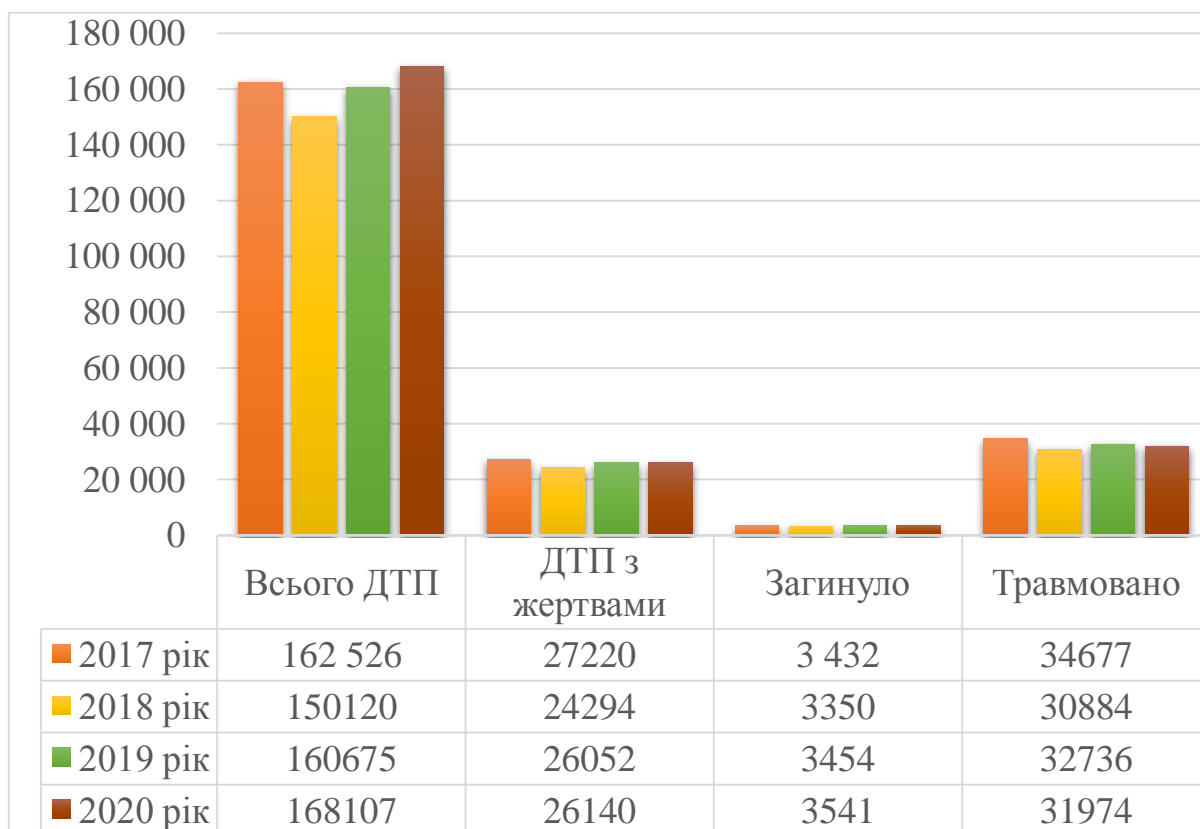
Інше ж питання – аварійність на окремих ділянках дороги. Тут заздалегідь встановлюється норма по кількості ДТП за деякий проміжок часу. Якщо абсолютна кількість ДТП перевищує норму, то потрібно проводити діяльність щодо зниження ризиків саме на цій ділянці. Це може бути встановлення попереджувальних дорожніх знаків або зниження швидкісного режиму. В деяких

випадках може бути прийняте рішення про виконання ремонтних робіт на даній ділянці дороги.

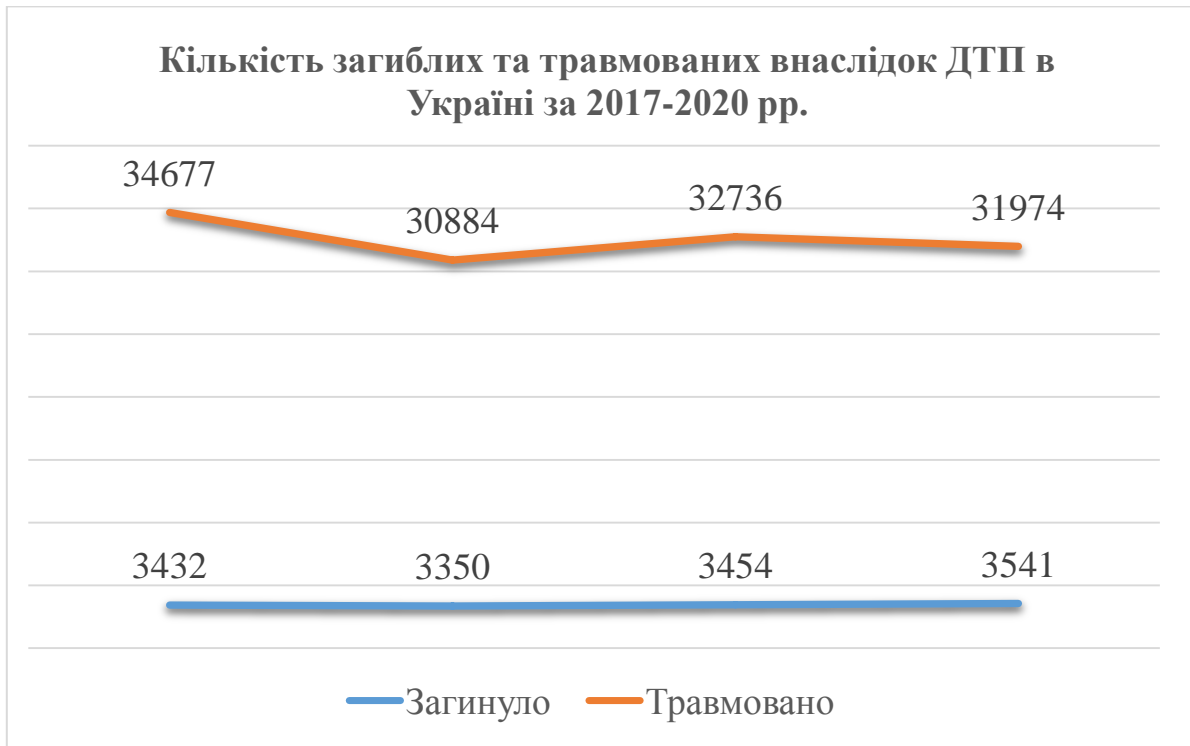
Аналіз статистичних даних дорожньо-транспортних пригод допомагає визначити домінуючі фактори ризику, визначити дороги з підвищеною аварійністю та окремі небезпечні ділянки. В проведенні роботи з підвищення рівня безпеки на дорозі дані аналізу статистики ДТП значно допоможуть звернути увагу на основні фактори ризику і зменшити значення ймовірності їх виникнення.

## 4.2 Статистика ДТП за останні 4 роки

У 2020 році на українських дорогах трапилось понад 168 тисяч ДТП, із яких близько 26 тисяч – з постраждалими. За цей же період загалом загинула 3 541 людина та 31 974 людини отримали травми. Порівняти статистику за минулі роки можна, ознайомившись зі стовпчастою діаграмою та таблицею:



Також за допомогою збору статистики за останні роки, можемо порівняти кількість загиблих та травмованих внаслідок ДТП в Україні за останні роки:



Як ми бачимо з статистичних даних, що висвітлені в таблиці, кількість ДТП за останні роки величезна. Це означає те, що рівень безпеки дорожнього руху в нашій країні досить низький і це є серйозною проблемою. Те, що за останні роки кількість ДТП на рік лише зростає каже нам про те, що шляхи подолання цієї проблеми не мають великого успіху. Високий рівень травматизму та смертності – проблема національного характеру, яку потрібно вирішувати, забезпечувати належний рівень безпеки дорожнього руху.

Задля вирішення цієї проблеми потрібно переглянути заходи безпеки, що були виконані в минулих роках, провести аналіз та визначити, які фактори мають найвищий пріоритет в безпеці дорожнього руху.

Як було зазначено вище Україна посідає перше місце за кількістю ДТП серед країн Європи. Використання сучасних методів управління ризиком значно зменшить число жертв та, як наслідок, покращить не лише демографічну, а й соціально-економічну ситуацію в Україні.

### 4.3 Відбір факторів, що увійдуть до моделі

Таблиця факторів, що увійшли до моделі небажаної події.

«Відмова гальм під час руху»

Назва події	Функція	Відмова	Причина	Наслідки	Небезпека (від 1 до 5)
1.Поршень головного гальмівного циліндру (ГГЦ).	Створює гідравлічний тиск після натискання на педаль гальма.	Вихід з ладу через тривале використання.	Несвоєчасна заміна.	Неможливість запуску процесу гальмування.	5
2.Поршень колісного циліндру	Створює тиск в окремому колесі.	Вихід з ладу через тривале використання.	Несвоєчасна заміна.	Не гальмує одне колесо	3
3.Гумові шланги	Протікання гальмівної рідини гальмівною системою	Витікання гальмівної рідини.	Механічне пошкодження. Водій не перевіряє рівень рідини.	Неможливість процесу гальмування.	5
4.Стальні шланги	Протікання гальмівної рідини гальмівною системою	Витікання гальмівної рідини.	Механічне пошкодження. Водій не перевіряє рівень рідини.	Неможливість процесу гальмування	5

5.Відтяжна пружина педалі гальма.	Відтягує педаль гальма до упору в вимикач стоп-сигналу.	Вихід з ладу через тривале використання.	Механічне пошкодження.	Педаль вільно ходить та не створює тиску в ГГЦ.	5
6.Направляючі супорта.	Прижимають колодки до поверхні диска.	Вихід з ладу через тривале використання.	Несвоєчасна заміна.	Не гальмує одне колесо.	3
7.Робочі камери вакуумного підсилювача.	Зменшує зусилля водія при натисканні на педаль гальма	Розгерметизація.	Механічне пошкодження.	Зменшення ефективності гальмівної системи та збільшення гальмівного шляху в декілька разів.	4
8.Гальмівні колодки.	Під тиском прижимаються до поверхні дисків.	Вихід з ладу через тривале використання.	Несвоєчасна заміна.	Зменшення ефективності гальм та збільшення гальмівного шляху.	5
9.Ущільнюючі кільця.	Створюють тиск при стисканні	Знос деталі. Неефективність через тривале використання	Несвоєчасна заміна.	Зменшення тиску в системі та збільшення гальмівного шляху.	3
10.Плаваючий поршень.	Створює тиск в приводі задніх гальм.	Вихід з ладу через тривале використання.	Несвоєчасна заміна.	Не гальмують задні колеса.	4
11.Передній трос приводу.	Передає гальмівне зусилля на передні колеса.	Розрив тросу.	Механічне пошкодження.	Не гальмують передні колеса	4
12.Задній трос приводу.	Передає гальмівне зусилля на задні колеса.	Розрив тросу.	Механічне пошкодження.	Не гальмують задні колеса	4

13. Штовхач.	Передає гальмівне зусилля до ГГЦ.	Знос деталі.	Несвоєчасна заміна.	Неможливість процесу гальмування.	5
14.Розпірна втулка.	Створює тиск в ГГЦ.	Знос деталі.	Несвоєчасна заміна.	Зменшення тиску в системі та збільшення гальмівного шляху.	4
15.Пружина.	Прижимає ущільнюючі кільця, створює тиск в ГГЦ.	Знос деталі.	Механічне пошкодження. Несвоєчасна заміна.	Зменшення тиску в системі та збільшення гальмівного шляху.	4

### Базисні події:

1. Знос поршня головного гальмівного циліндра.
2. Знос поршня колісного циліндру. (для відмови системи одного колеса).
3. Витікання гальмівної рідини (непридатність гумових шлангів).
4. Витікання гальмівної рідини ( непридатність сталевих трубок).
5. Несправність відтяжної пружини педалі гальма.
6. Зношені направляючі супорта. (для відмови системи одного колеса)
7. Розгерметизація робочих камер вакуумного підсилювача.
8. Знос гальмівних колодок.
9. Зношені ущільнюючі кільця.
- 10.Знос плаваючого поршня (відсутність тиску в приводі задніх гальм).
- 11.Послаблення переднього тросу приводу ---> не переводиться підсилення на важелі ручного приводу колодок.
- 12.Послаблення заднього тросу приводу ---> не переводиться підсилення на важелі ручного приводу колодок.

13. Несправність штовхача.
14. Знос розпірної втулки.
15. Знос пружини.
16. Зламана сигналізація витoku гальмівної рідини.

### **Людський чинник:**

#### **Неправильні дії водія:**

1. Не перевіряв рівень гальмівної рідини в авто.
2. Водій не скористався ручником.
3. Водій неправильно відрегулював розподільувач гальмівних зусиль на передню та задню осі.
4. Водій використовує не рекомендовану гальмівну рідину.

#### **Правильні дії водія:**

1. Водій використовує рекомендовану гальмівну рідину.
2. Водій перевіряв рівень гальмівної рідини.
3. Водій вчасно замінює гальмівні колодки.
4. Водій перевіряв справність гальмівної системи.
5. Водій скинув газ та декілька разів натиснув на педаль гальма до упору.

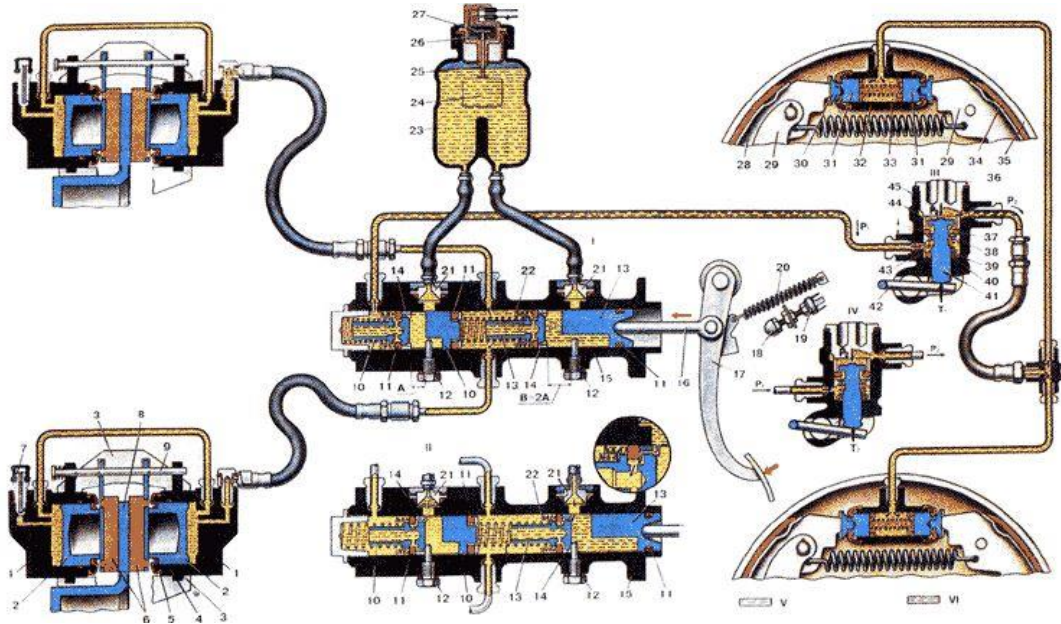
#### **4.4 Висновок до розділу**

В ході вивчення принципу роботи гальмівної системи було визначено первинні причини виникнення такої події, як відмова гальм під час руху. Була зроблена залежність подій одна від одної, що допомогло при розробці математичної моделі. В деякій мірі визначені правильні та неправильні дії водія в експлуатації транспортного засобу. Було розглянуто елементи системи та обрано ті, наслідками виходу з ладу яких є вихід з ладу гальмівної системи в цілому. На основі вибору цих елементів стало можливим подальше дослідження та розрахунки обраної небажаної події.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

### 5.1 Опис моделі

Для того, щоб побудувати ймовірнісну математичну модель потрібно розуміти, як працює гальмівна система автомобіля. Розглянемо принципову схему гальмівної системи:



1. При натисканні на педаль гальма сила передається до підсилювача, який створює додаткове зусилля на головному гальмівному циліндрі.
2. Поршень головного гальмівного циліндра переганяє рідину через трубопроводи до колісних циліндрів.
3. При цьому збільшується тиск рідини в гальмівному приводі.
4. Поршні колісних циліндрів переміщують гальмівні колодки до дисків (барabanів).
5. При подальшому натисканні на педаль збільшується тиск рідини і відбувається спрацьовування гальмівних механізмів, що призводить до уповільнення обертання коліс і появи гальмівних сил в точці контакту шин з дорогою.

6. Після гальмування, педаль під впливом поворотної пружини переміщається в початкове положення.
7. У вихідне положення, також, переміщається поршень головного гальмівного циліндра.
8. Пружинні елементи відводять колодки від дисків
9. Гальмівна рідина з колісних циліндрів по трубопроводах витісняється в головний гальмівний циліндр.
10. Тиск в системі падає.

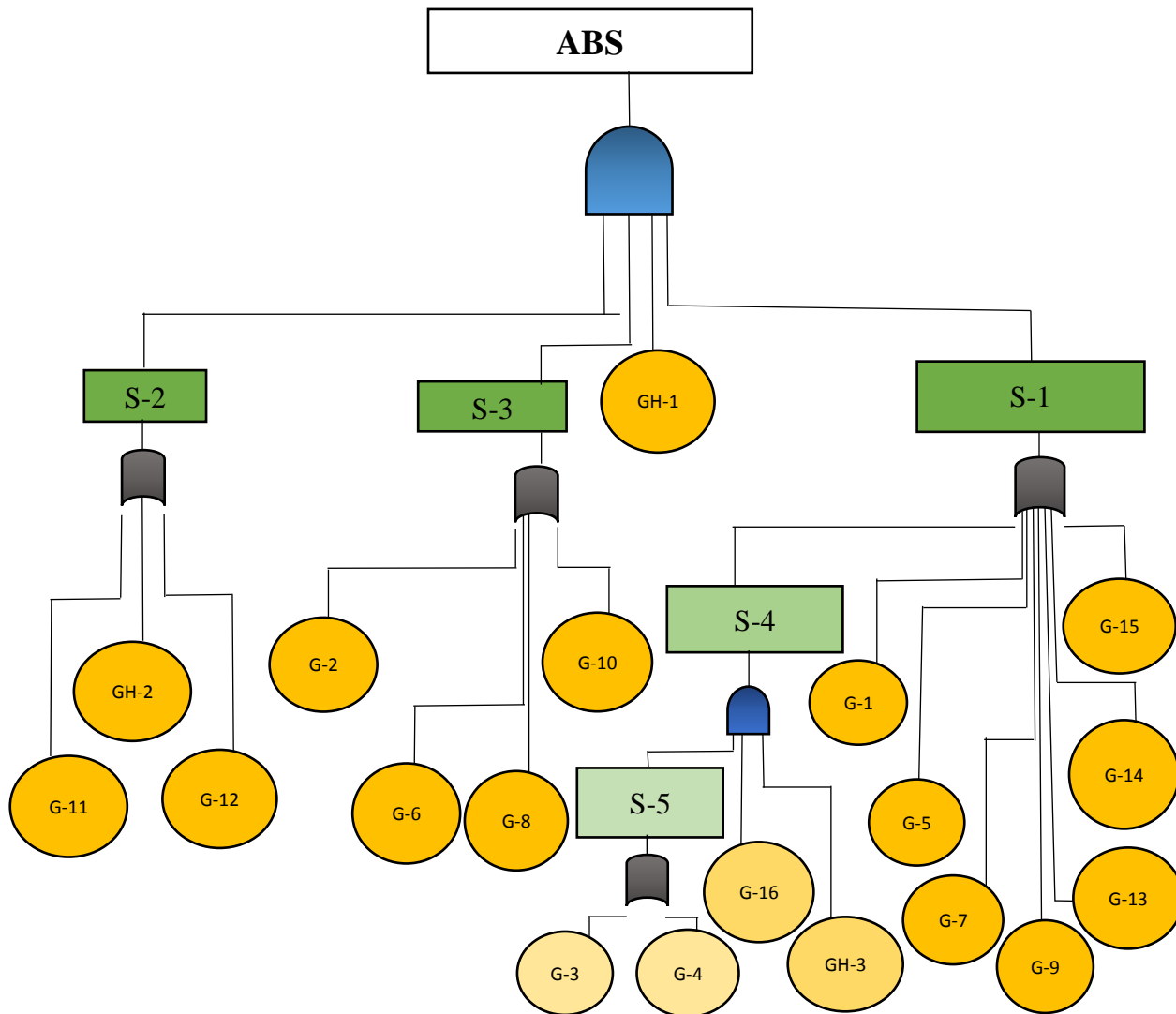
Для побудови моделі виникнення небажаної події було використано метод кількісного аналізу – побудова дерева відмов.

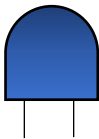

Дерево відмов – графічна модель різних відмов, що можуть відбуватися як паралельно, так і послідовно. Тобто це модель тих відмов, що призводять до виникнення визначеної небажаної події. В нашому випадку відмови гальмівної системи під час руху.

Наше завдання побудувати математичну ймовірнісну модель системи, яка буде враховувати можливі відмови складових елементів гальмівної системи, залежність між ними та їх зв'язок.

Ця математична модель дозволить розрахувати ймовірність відмови системи на основі відомих характеристик надійності кожного з елементів гальмівної системи.

## ДЕРЕВО ВІДМОВ:



Символ знака	логічного знака	Назва логічного знака	Причинний взаємозв'язок
		І	Вихідна подія відбувається, якщо усі вихідні події трапляються одночасно
		АБО	Вихідна подія відбувається, якщо трапляється будь-яка з вхідних подій

### **Базисні події:**

- G-1 – Знос поршня ГГЦ;
- G-2 – Знос поршня колісного циліндру;
- G-3 – Механічне пошкодження гумових шлангів;
- G-4 – Механічне пошкодження сталевих шлангів;
- G-5 – Знос відтяжної пружини педалі гальма;
- G-6 – Знос направляючого суппорта;
- G-7 – Розгерметизація робочих камер вакуумного підсилювача;
- G-8 – Знос гальмівних колодок;
- G-9 – Зношені ущільнюючі кільця;
- G-10 – Зношений плаваючий поршень;
- G-11 – Послаблений передній трос приводу;
- G-12 – Послаблений задній трос приводу;
- G-13 – Знос штовхача;
- G-14 – Знос розпірної втулки;
- G-15 – Знос пружини;
- G-16 – Зламана сигналізація витoku гальмівної рідини.

### **Людський чинник:**

- GH-1 – Помилка обслуговування;
- GH-2 – Невикористання ручного гальма при відмові гальм;
- GH-3 – Відсутня перевірка рівня гальмівної рідини.

### **Події, що не є базисними:**

- S-1 – Відсутність тиску в гальмівній системі;
- S-2 – Несправність стоянкового гальма;
- S-3 – Несправність колісної гальмівної системи;
- S-4 – Відсутність гальмівної рідини в системі;
- S-5 – Пошкодження трубопроводів.

Верхньою подією (ABS) в даному ДВ є відмова гальм під час руху. При побудові використовувалась концепція миттєвої відмови, тобто кожна подія

визначена такою, що відбувається сама в цей момент часу. Спочатку було звернено увагу на причини (події, що не є базисними), що є необхідними і достатніми для виникнення верхньої події. Наступним кроком є дослідження не БП та складання переліку БП.

Головною перевагою ДВ полягає в тому, що ми аналізуємо лише ті елементи системи та ті події, які можуть призвести до нашої верхньої події. На основі ДВ можна записати формулу для визначення ймовірності відмови гальм під час руху.

$$P(ABS)=P(S-1)*P(S-2)*P(S-3)*P(GH-1)$$

Аналогічно запишемо формули для розрахунку подій, що не є базисними.

Ймовірність виходу з ладу системи тиску автомобіля розраховується за формулою:

$$P(S-1)=P(S-4)+P(G-1)+P(G-5)+P(G-7)+P(G-9)+P(G-13)+P(G-14)+P(G-15),$$

де ймовірність відсутності гальмівної рідини:

$$P(S-4)=P(S-5)*P(G-16)*P(GH-3),$$

а пошкодження трубопроводів буде вираховуватись в залежності від типу обладнання за формулою:

$$P(S-5)=P(G-3)+P(G-4)$$

Ймовірність того, що стоянкове гальмо буде несправним визначається за формулою:

$$P(S-2)=P(G-11)+P(G-12)+P(GH-2)$$

Формула ймовірності несправності колісної гальмівної системи:

$$P(S-3)=P(G-2)+P(G-6)+P(G-8)+P(G-10)$$

Ймовірності виникнення базисних подій було назначено експертним методом.

## 5.2 Висновки до розділу

В ході побудови ДВ ми позначили верхню подію та шляхом опрацювання принципу роботи гальмівної системи та ознайомлення зі всіма елементами системи були визначені події, що не є базисними та базисні події, що їх спричиняють. Було обрано 5 подій, що не є базисними. Розглянемо кожен з них.

**S-5** – пошкодження трубопроводів. Як можемо помітити з моделі, ця подія спричиняє витік гальмівної рідини з системи (S-4), вона може виникнути через пошкодження гумових або сталевих шлангів (G-3 або G-4), в залежності від того, які трубопроводи встановлені на автомобілі.

**S-4** – відсутність гальмівної рідини в системі. Ця подія виникає коли одночасно виникло пошкодження трубопроводів (S-5), сигналізація витіку гальмівної рідини несправна (G-16) та водій не перевіряв рівень гальмівної рідини (GH-3).

**S-1** – відсутність тиску в гальмівній системі. Виникає, коли відсутня гальмівна рідина (S-4) або зношений один з елементів системи: поршень ГГЦ (G-1), відтяжна пружина педалі гальма (G-5), ущільнюючі кільця (G-9), штовхач (G-13), розпірна втулка (G-14), пружина (G-15), або робочі камери вакуумного підсилювача розгерметизовані (G-7).

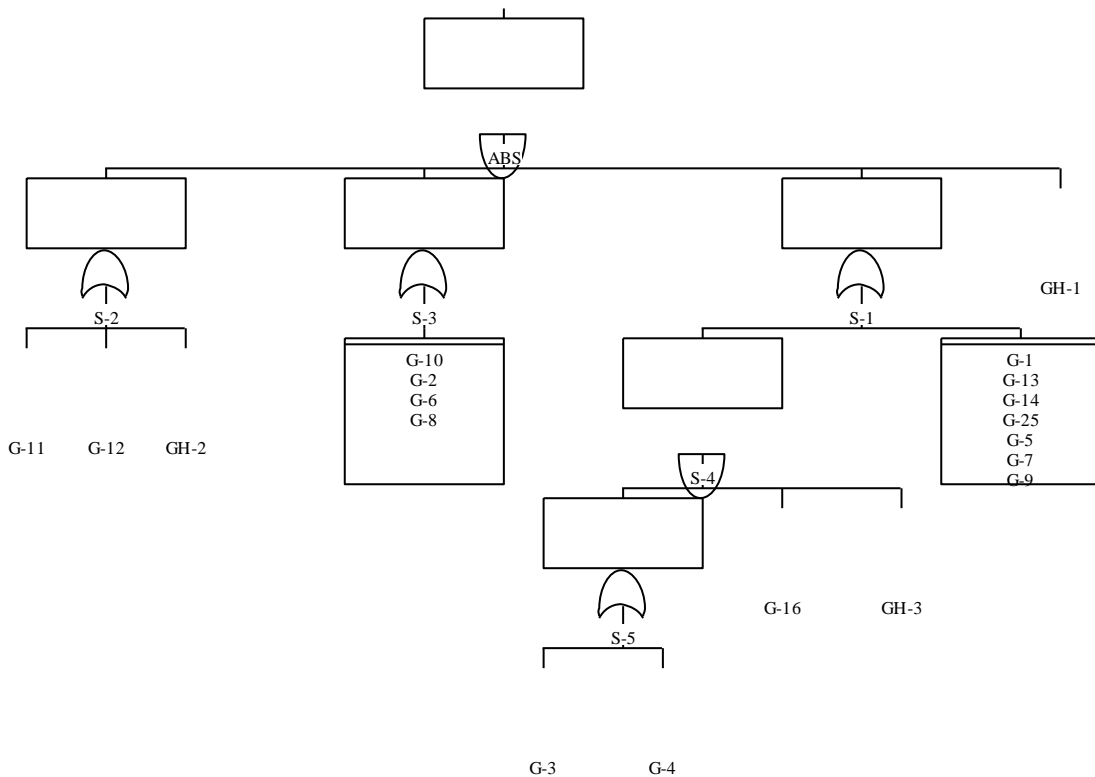
**S-3** – несправність колісної гальмівної системи. Це може відбутись, якщо один з елементів колісної гальмівної системи вийшов з ладу. Це може бути: поршень колісного циліндру (G-2), направляючий суппорт (G-6), гальмівні колодки (G-8), плаваючий поршень (G-10).

**S-2** – несправність стоянкового гальма, що зовсім унеможливить гальмування транспортного засобу. Це може статись через послаблення переднього (G-11) чи заднього (G-12) тросів приводу або через невикористання ручних гальм оператором при небажаній події (GH-2).

Внаслідок досліджень та побудови дерева відмов можемо визначити ймовірність виникнення небажаної події. Гальма відмовлять під час руху в тому випадку, якщо одночасно відбудуться події S-2, S-3, S-1 та оператор допустить помилку або халатність при обслуговуванні ТЗ (GH-1). На основі дерева відмов записали формули ймовірності для подій, що не є базисними. Ймовірність виникнення базисних подій назначено експертним методом.

## РОЗДІЛ 6. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для виконання розрахунків було обрано ПЗ «SAPHIRE». В цій програмі було побудовано модель системи відмови гальм, яка є підсистемою більш складного процесу дорожньої транспортної пригоди (виконана за допомогою ПЗ «SAPHIRE»).



Дерево відмов системи (ПЗ «SAPHIRE»)

На основі дерева відмов та залежності між подіями складена таблиця мінімальних перерізів виникнення небажаної події. В нашій системі 108 мінімальних перерізів.

**Таблиця мінімальних перерізів:**

Sort/Slice Cut Set Report

Family-> TEST

Fault Tree-> ABS

Mincut Upper Bound -> 6.049E-002

This Partition -> 6.049E-002

Cut % % Cut

No. Total Set Frequency Cut Sets

No.	Total	Set	Frequency	Cut Sets
1	59.5	59.5	3.600E-002	G-2, G-15, GH-1, GH-2
2	89.3	29.8	1.800E-002	G-15, G-8, GH-1, GH-2
3	94.6	5.4	3.240E-003	G-15, G-6, GH-1, GH-2
4	96.9	2.3	1.368E-003	G-2, G-9, GH-1, GH-2
5	98.0	1.1	6.840E-004	G-8, G-9, GH-1, GH-2
6	98.7	0.7	4.050E-004	G-11, G-2, G-15, GH-1
7	99.3	0.6	3.600E-004	G-12, G-2, G-15, GH-1
8	99.9	0.6	3.600E-004	G-2, G-5, GH-1, GH-2
9	100.0	0.3	2.025E-004	G-11, G-15, G-8, GH-1
10	100.0	0.3	1.800E-004	G-12, G-15, G-8, GH-1
11	100.0	0.3	1.800E-004	G-5, G-8, GH-1, GH-2
12	100.0	0.2	1.440E-004	G-10, G-15, GH-1, GH-2
13	100.0	0.2	1.231E-004	G-6, G-9, GH-1, GH-2
14	100.0	0.1	5.400E-005	G-2, G-7, GH-1, GH-2
15	100.0	0.1	3.645E-005	G-11, G-15, G-6, GH-1
16	100.0	0.1	3.240E-005	G-12, G-15, G-6, GH-1
17	100.0	0.1	3.240E-005	G-5, G-6, GH-1, GH-2
18	100.0	0.1	2.700E-005	G-7, G-8, GH-1, GH-2
19	100.0	0.0	1.800E-005	G-1, G-2, GH-1, GH-2

20	100.0	0.0	1.539E-005	G-11, G-2, G-9, GH-1
21	100.0	0.0	1.368E-005	G-12, G-2, G-9, GH-1
22	100.0	0.0	1.080E-005	G-13, G-2, GH-1, GH-2
23	100.0	0.0	9.000E-006	G-1, G-8, GH-1, GH-2
24	100.0	0.0	7.695E-006	G-11, G-8, G-9, GH-1
25	100.0	0.0	7.200E-006	G-14, G-2, GH-1, GH-2
26	100.0	0.0	6.840E-006	G-12, G-8, G-9, GH-1
27	100.0	0.0	5.472E-006	G-10, G-9, GH-1, GH-2
28	100.0	0.0	5.400E-006	G-13, G-8, GH-1, GH-2
29	100.0	0.0	4.860E-006	G-6, G-7, GH-1, GH-2
30	100.0	0.0	4.050E-006	G-11, G-2, G-5, GH-1
31	100.0	0.0	3.600E-006	G-12, G-2, G-5, GH-1
32	100.0	0.0	3.600E-006	G-14, G-8, GH-1, GH-2
33	100.0	0.0	2.160E-006	G-16, G-2, G-3, GH-1, GH-2, GH-3
34	100.0	0.0	2.025E-006	G-11, G-5, G-8, GH-1
35	100.0	0.0	1.800E-006	G-12, G-5, G-8, GH-1
36	100.0	0.0	1.620E-006	G-1, G-6, GH-1, GH-2
37	100.0	0.0	1.620E-006	G-10, G-11, G-15, GH-1
38	100.0	0.0	1.440E-006	G-10, G-12, G-15, GH-1
39	100.0	0.0	1.440E-006	G-10, G-5, GH-1, GH-2
40	100.0	0.0	1.385E-006	G-11, G-6, G-9, GH-1
41	100.0	0.0	1.231E-006	G-12, G-6, G-9, GH-1
42	100.0	0.0	1.080E-006	G-16, G-3, G-8, GH-1, GH-2, GH-3
43	100.0	0.0	9.720E-007	G-13, G-6, GH-1, GH-2
44	100.0	0.0	6.480E-007	G-14, G-6, GH-1, GH-2
45	100.0	0.0	6.075E-007	G-11, G-2, G-7, GH-1
46	100.0	0.0	5.400E-007	G-12, G-2, G-7, GH-1
47	100.0	0.0	3.645E-007	G-11, G-5, G-6, GH-1
48	100.0	0.0	3.240E-007	G-12, G-5, G-6, GH-1

49	100.0	0.0	3.037E-007	G-11, G-7, G-8, GH-1
50	100.0	0.0	2.700E-007	G-12, G-7, G-8, GH-1
51	100.0	0.0	2.160E-007	G-16, G-2, G-4, GH-1, GH-2, GH-3
52	100.0	0.0	2.160E-007	G-10, G-7, GH-1, GH-2
53	100.0	0.0	2.025E-007	G-1, G-11, G-2, GH-1
54	100.0	0.0	1.944E-007	G-16, G-3, G-6, GH-1, GH-2, GH-3
55	100.0	0.0	1.800E-007	G-1, G-12, G-2, GH-1
56	100.0	0.0	1.215E-007	G-11, G-13, G-2, GH-1
57	100.0	0.0	1.080E-007	G-12, G-13, G-2, GH-1
58	100.0	0.0	1.080E-007	G-16, G-4, G-8, GH-1, GH-2, GH-3
59	100.0	0.0	1.013E-007	G-1, G-11, G-8, GH-1
60	100.0	0.0	9.000E-008	G-1, G-12, G-8, GH-1
61	100.0	0.0	8.100E-008	G-11, G-14, G-2, GH-1
62	100.0	0.0	7.200E-008	G-12, G-14, G-2, GH-1
63	100.0	0.0	7.200E-008	G-1, G-10, GH-1, GH-2
64	100.0	0.0	6.156E-008	G-10, G-11, G-9, GH-1
65	100.0	0.0	6.075E-008	G-11, G-13, G-8, GH-1
66	100.0	0.0	5.472E-008	G-10, G-12, G-9, GH-1
67	100.0	0.0	5.467E-008	G-11, G-6, G-7, GH-1
68	100.0	0.0	5.400E-008	G-12, G-13, G-8, GH-1
69	100.0	0.0	4.860E-008	G-12, G-6, G-7, GH-1
70	100.0	0.0	4.320E-008	G-10, G-13, GH-1, GH-2
71	100.0	0.0	4.050E-008	G-11, G-14, G-8, GH-1
72	100.0	0.0	3.600E-008	G-12, G-14, G-8, GH-1
73	100.0	0.0	2.880E-008	G-10, G-14, GH-1, GH-2
74	100.0	0.0	2.430E-008	G-11, G-16, G-2, G-3, GH-1, GH-3
75	100.0	0.0	2.160E-008	G-12, G-16, G-2, G-3, GH-1, GH-3
76	100.0	0.0	1.944E-008	G-16, G-4, G-6, GH-1, GH-2, GH-3

77	100.0	0.0	1.822E-008	G-1, G-11, G-6, GH-1
78	100.0	0.0	1.620E-008	G-1, G-12, G-6, GH-1
79	100.0	0.0	1.620E-008	G-10, G-11, G-5, GH-1
80	100.0	0.0	1.440E-008	G-10, G-12, G-5, GH-1
81	100.0	0.0	1.215E-008	G-11, G-16, G-3, G-8, GH-1, GH-3
82	100.0	0.0	1.093E-008	G-11, G-13, G-6, GH-1
83	100.0	0.0	1.080E-008	G-12, G-16, G-3, G-8, GH-1, GH-3
84	100.0	0.0	9.720E-009	G-12, G-13, G-6, GH-1
85	100.0	0.0	8.640E-009	G-10, G-16, G-3, GH-1, GH-2, GH-3
86	100.0	0.0	7.290E-009	G-11, G-14, G-6, GH-1
87	100.0	0.0	6.480E-009	G-12, G-14, G-6, GH-1
88	100.0	0.0	2.430E-009	G-11, G-16, G-2, G-4, GH-1, GH-3
89	100.0	0.0	2.430E-009	G-10, G-11, G-7, GH-1
90	100.0	0.0	2.187E-009	G-11, G-16, G-3, G-6, GH-1, GH-3
91	100.0	0.0	2.160E-009	G-12, G-16, G-2, G-4, GH-1, GH-3
92	100.0	0.0	2.160E-009	G-10, G-12, G-7, GH-1
93	100.0	0.0	1.944E-009	G-12, G-16, G-3, G-6, GH-1, GH-3
94	100.0	0.0	1.215E-009	G-11, G-16, G-4, G-8, GH-1, GH-3
95	100.0	0.0	1.080E-009	G-12, G-16, G-4, G-8, GH-1, GH-3
96	100.0	0.0	8.640E-010	G-10, G-16, G-4, GH-1, GH-2, GH-3
97	100.0	0.0	8.100E-010	G-1, G-10, G-11, GH-1
98	100.0	0.0	7.200E-010	G-1, G-10, G-12, GH-1
99	100.0	0.0	4.860E-010	G-10, G-11, G-13, GH-1
100	100.0	0.0	4.320E-010	G-10, G-12, G-13, GH-1
101	100.0	0.0	3.240E-010	G-10, G-11, G-14, GH-1
102	100.0	0.0	2.880E-010	G-10, G-12, G-14, GH-1
103	100.0	0.0	2.187E-010	G-11, G-16, G-4, G-6, GH-1, GH-3
104	100.0	0.0	1.944E-010	G-12, G-16, G-4, G-6, GH-1, GH-3
105	100.0	0.0	9.720E-011	G-10, G-11, G-16, G-3, GH-1, GH-3

106	100.0	0.0	8.640E-011	G-10, G-12, G-16, G-3, GH-1, GH-3
107	100.0	0.0	9.720E-012	G-10, G-11, G-16, G-4, GH-1, GH-3
108	100.0	0.0	8.640E-012	G-10, G-12, G-16, G-4, GH-1, GH-3

Також за допомогою ПЗ було визначено, які з базисних подій в нашій моделі є найважливішими та ймовірності виникнення яких є найбільшими.

***Таблиця важливості базисних подій***

IMPORTANCE MEASURES REPORT (Alternate Cut Sets)

Family	: TEST	Analysis	: RANDOM
Fault Tree	: ABS	Case	: ALTERNATE

(Sorted by Fussell-Vesely Importance)

Event Name	Num. of	Probability of	Fussell-Vesely Failure Occ.	Risk Reduction Importance	Risk Increase Ratio	Risk Ratio
GH-1	108	9.000E-001	1.000E+000	1.816E+014	1.109E+000	
GH-2	36	8.000E-001	9.788E-001	4.725E+001	1.240E+000	
G-15	12	1.000E+000	9.511E-001	2.044E+001	1.000E+000	
G-2	27	5.000E-002	6.223E-001	2.648E+000	1.224E+001	
G-8	27	2.500E-002	3.054E-001	1.440E+000	1.233E+001	
G-6	27	4.500E-003	5.416E-002	1.057E+000	1.239E+001	
G-9	12	3.800E-002	3.464E-002	1.036E+000	1.864E+000	
G-11	36	9.000E-003	1.054E-002	1.011E+000	2.136E+000	
G-12	36	8.000E-003	9.367E-003	1.009E+000	2.138E+000	
G-5	12	1.000E-002	9.105E-003	1.009E+000	1.888E+000	

G-10	27	2.000E-004	2.400E-003	1.002E+000	1.241E+001
G-7	12	1.500E-003	1.365E-003	1.001E+000	1.895E+000
G-1	12	5.000E-004	4.551E-004	1.000E+000	1.896E+000
G-13	12	3.000E-004	2.730E-004	1.000E+000	1.896E+000
G-14	12	2.000E-004	1.820E-004	1.000E+000	1.896E+000
GH-3	24	6.000E-001	6.007E-005	1.000E+000	1.000E+000
G-16	24	5.000E-003	6.007E-005	1.000E+000	1.012E+000
G-3	12	2.000E-002	5.461E-005	1.000E+000	1.003E+000
G-4	12	2.000E-003	5.461E-006	1.000E+000	1.003E+000

### **Висновки до розділу**

Були проведені розрахунки на основі дерева відмов, побудована таблиця мінімальних перерізів подій та таблиця важливості базисних подій моделі відмови гальмівної системи під час руху, що є підсистемою більш складного процесу виникнення ДТП. З таблиці важливості базисних подій можна впевнено зробити висновок, що найважливішими подіями є помилка в обслуговуванні ТЗ (GH-1) та невикористання ручного гальма при відмові гальм (GH-2). Найменш важливим є пошкодження стальних шлангів, ймовірність виникнення цієї події є значно малою порівняно з іншими базисними подіями.

В таблицю мінімальних перерізів були включені події, одночасне виникнення яких є достатньою умовою для відмови гальмівної системи. Була розрахована частота виходу з ладу кожного перерізу системи. Найчастішими подіями є помилка в обслуговуванні (GH-1), невикористання ручного гальма водієм (GH-2) та знос пружини системи тиску (G-15). В колісній гальмівній системі найчастіше виходять з ладу гальмівні колодки (G-8) та поршень колісного циліндру (G-2)

## ВИСНОВОК

Україна посідає перше місце в Європі за кількістю жертв від дорожньо-транспортних пригод. Це потребує розроблення стратегії щодо зменшення ризику виникнення аварії. Було прийняте рішення дослідити систему відмови гальм під час руху, що є підсистемою процесу виникнення ДТП.

В даній кваліфікаційній роботі були розглянуті та проаналізовані існуючі рішення та методи оцінки ризику, був використаний ризик-орієнтовний підхід для вирішення поставленої задачі. Для дослідження моделі був обраний імовірно-евристичний метод та метод експертних оцінок.

На основі принципової схеми роботи гальмівної системи було визначено основні елементи, несправність яких може вплинути на функціонування гальм та спричинить їх відмову. На базі цих суджень виявили події, що є базисними та які впливають на функціонування цих елементів. Було спроектовано дерево відмов системи та на основі цього записано формули ймовірностей виходу з ладу системи в цілому та окремих її елементів.

За допомогою програмного забезпечення було виконано розрахунки ймовірностей, складено таблицю мінімальних перерізів та таблицю важливості базисних подій.

Події, що виникають найчастіше прямим чином залежать від дій оператора (водія ТЗ). Найбільш частою є ймовірність помилки в обслуговуванні ТЗ.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах / І. О. Ткаченко. – Харків: ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2017. – 115 с.
2. Бегун В. В. Безпека життєдіяльності / В. В. Бегун, І. М. Науменко. – Київ, 2004. – 207 с. – (УДК 614.8:351).
3. Рябушенко О. В. Використання методів оцінки ризиків при аналізі втрат від дорожньо-транспортних пригод / О. В. Рябушенко. // Вестник ХНАДУ. – 2013. – №61-62. – С. 86–90.
4. Статистика ДТП в Україні [Електронний ресурс] // Патрульна поліція. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> .
5. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.
6. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95.-К.: Держстандарт України, 1995. – 51 с.
7. Директорат з безпеки на транспорті. Стан справ аварійності на транспорті в Україні за 2019 рік / Директорат з безпеки на транспорті.. – Київ: Міністерство інфраструктури України, 2020. – 134 с.
8. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
9. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ. Сыромятникова В.С., - М., 1984.
- 10.ASP. Accident Sequence Precursor. Event Tree/ Fault Tree Development Course. 1995.