

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Особливості побудови моделі транспортного потоку для
інтелектуальних транспортних систем

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МНм-61
спеціальності 275.03 Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

_____ Іванунь В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Гевко Б.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Дзюра В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри _____ Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Іванунь В.В. – Особливості побудови моделі транспортного потоку для інтелектуальних транспортних систем – Рукопис.

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 275.03 – транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2023.

Робота присвячена дослідженню макроскопічних моделей транспортного потоку, які враховують передбачення водіїв, реакцію водіїв, вплив маршруту та інші фактори, що впливають на поведінку транспортного потоку. Запропоновано нові моделі та покращили існуючі моделі, щоб забезпечити реалістичну та ефективну характеристику транспортного потоку в перевантажених зонах.

Проведено ряд експериментів на прямих та кільцевих дорогах з неактивними вузькими місцями, щоб продемонструвати роботу запропонованих та покращених моделей транспортного потоку. Вони показали, що моделі здатні точно передбачати зміни щільності та швидкості транспортного потоку, уникати нереалістичних коливань та забезпечувати плавний перехід між різними режимами руху. Вони також показали, що їх моделі можуть враховувати вплив поведінки водія та вибору маршруту на транспортний потік та зменшувати час поїздки, забруднення та споживання палива. Моделі транспортного потоку для інтелектуальних транспортних систем є реалістичними, ефективними та практичними.

В четвертому розділі розглянуто питання з управління охороною праці, організації роботи з охорони праці на підприємстві, пожежної безпеки на автотранспортних підприємствах, безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, МОДЕЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Ivanun V.V. – Peculiarities of constructing a traffic flow model for intelligent transport systems - Manuscript.

Qualifying work for the master's degree in the specialty 275.03 - transport technology (in road transport). - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, - Ternopil, 2023.

The work is devoted to the study of macroscopic models of traffic flow, which take into account drivers' predictions, drivers' reactions, the influence of the route and other factors affecting the behavior of traffic flow. New models are proposed and existing models are improved to provide realistic and efficient characterization of traffic flow in congested areas.

A number of experiments were conducted on straight and ring roads with inactive bottlenecks to demonstrate the performance of the proposed and improved traffic flow models. They showed that the models are able to accurately predict changes in the density and speed of the traffic flow, avoid unrealistic fluctuations and ensure a smooth transition between different traffic modes. They also showed that their models can take into account the impact of driver behavior and route choices on traffic flow and reduce travel time, pollution and fuel consumption. Traffic flow models for intelligent transport systems are realistic, efficient and practical.

In the fourth chapter, the issue of labor protection management, organization of work on labor protection at the enterprise, fire safety at motor vehicle enterprises, safety in emergency situations is considered.

TRANSPORT, TRANSPORT FLOW, MODEL, SIMULATION

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1. Передумови дослідження.....	12
1.2. Метод декомпозиції Роу.....	15
1.3. Виправлення ентропії.....	17
1.4. Модель транспортного потоку на основі передбачення.....	17
1.4.1. Моделі транспортних потоків.....	18
1.5. Результати моделювання.....	21
Висновки до розділу.....	28
2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	29
2.1. Хвильова модель.....	29
2.1.1. Типова хвильова модель транспортного потоку.....	29
2.1.2. Покращена хвильова модель.....	30
2.1.3. Оцінка ефективності.....	31
2.1.4. Результати моделювання.....	33
2.2. Модель транспортного потоку на основі вирівнювання.....	36
2.2.1. Моделі транспортних потоків.....	37
2.2.2. Результати моделювання.....	40
Висновки до розділу.....	48
3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	49
3.1. Модель транспортного потоку на основі реакції водія.....	49
3.2. Запропонована модель.....	50
3.3. Результати дослідження.....	56
Висновки до розділу.....	63
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	64
4.1. Органи управління охороною праці.....	64
4.2. Організація роботи з охорони праці на підприємстві.....	70
4.3. Пожежна безпека на автотранспортних підприємствах.....	73
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	74

4.5. Дорожній рух і забезпечення його безпеки.....	76
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81

ВСТУП

У роботі досліджено макроскопічне моделювання транспортного потоку з огляду на розумні транспортні системи. Враховуючи особливості розвитку транспортного потоку та вимоги до реалістичного прогнозування та оптимізації транспортного потоку в районах з високим рівнем трафіку, розглядається моделювання транспортного потоку для розумних транспортних систем.

Чотири ключові аспекти моделювання транспортного потоку, а саме точне прогнозування просторового коригування щільності руху, поведінка транспорту на довгій нескінченній дорозі та на дорозі, що має вихід і вхід до потоку, вплив поведінки водія на транспортний потік і маршрут, досліджуються. Просторове коригування щільності руху досліджується з точки зору коригування швидкості. Потім досліджується поведінка руху на основі безпечної відстані та безпечного часу на довгій нескінченній дорозі для переходу та рівномірного потоку. Перехідна поведінка транспортного потоку також досліджується для виходу та входу в потік, що має значення регулювання, яке характеризує реакцію водія. Зміна регулюючого значення уточнює розподіли швидкості та щільності руху відповідно до повільної або агресивної реакції водія. Далі вивчається вплив поведінки водія на транспортний потік. Поведінка водія включає фізіологічну та психологічну реакцію. У цій роботі також розроблені переваги маршруту для зменшення часу поїздки, забруднення та споживання палива. Наведено результати роботи запропонованих моделей.

Для досягнення поставленої мети поставлені завдання: проаналізувати існуючі моделі транспортного потоку на основі передбачення, моделі транспортних потоків, типову хвильову модель транспортного потоку, запропонувати покращену хвильову модель, провести оцінку ефективності, розглянути результати моделювання, проаналізувати модель транспортного потоку на основі вирівнювання, модель транспортного потоку на основі реакції водія, запропонувати удосконалену модель, зробити висновки.

Методи дослідження. Для аналізу та порівняння моделей транспортного потоку використовувалися аналітичні та порівняльні методи дослідження. Для

дискретизації та реалізації моделей використовувалися метод декомпозиції Рору, та виправлення ентропії. Для оцінки ефективності моделей використовувалися критерії, такі як час переходу, відстань переходу, швидкість навігації, поведінка поступливості та інші.

1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Передумови дослідження

Моделювання дорожнього руху набуло значного значення після появи заторів в останні десятиліття. Моделювання дорожнього руху – це характеристика поведінки дорожнього руху. Перевантажені зони руху – це ті ділянки, де інтенсивність руху через інтенсивність руху висока. Передбачається, що якщо модель точно характеризує поведінку дорожнього руху для початкового набору даних, то використання такої моделі в перевантажених зонах покращить транспортний потік. Розвиток високої інтенсивності руху на відстані вздовж дороги зумовлений повільним рухом транспорту, аварійністю та елементами регулювання руху. Застосування моделей, які точно характеризують поведінку дорожнього руху, покращить використання дорожньої інфраструктури, а також зменшить затори та забруднення. Ці моделі також зменшать час у дорозі та витрати на дорогу. Трафік матиме форму попередньо контрольованої системи шляхом попереднього коригування характеристик руху. Приклади включають динамічні зміни в дорожніх знаках, пристрої для контролю швидкості транспортних засобів, що знаходяться над головою, і синхронізований потік із світлофорами. У цій роботі пропонуються нові моделі для точної характеристики поведінки транспортного потоку з метою покращення умов руху.

Транспортний потік класифікується на основі умов руху на дорозі. Терміни, що використовуються для транспортного потоку, це однорідний, неоднорідний, рівноважний і нерівноважний потік. Неоднорідний потік відповідає транспортному потоку на дорозі з різними параметрами в різних місцях, в іншому випадку потік є однорідним.

Рівноважний потік визначається як транспортний потік, швидкість якого є унікальною функцією щільності, інакше потік є нерівноважним. Швидкість рівноважної течії відома як рівноважна швидкість. Для рівноважної швидкості запропоновано декілька моделей

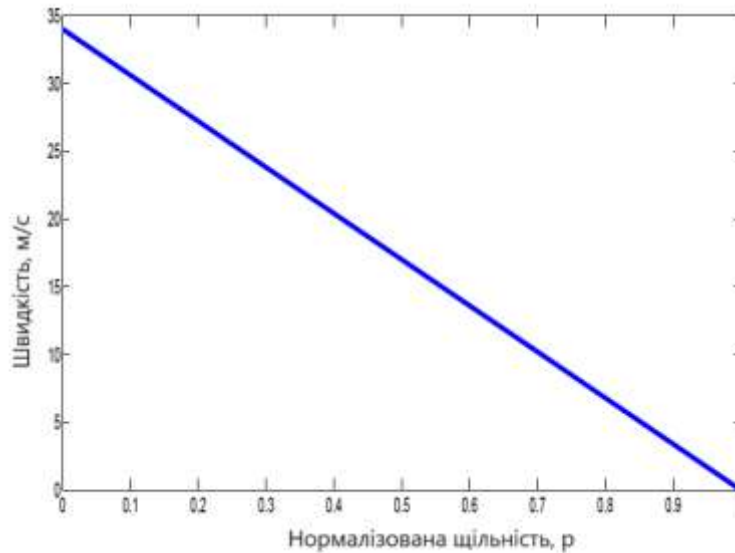


Рисунок 1.1 – Рівноважний розподіл швидкостей Гріншильда

В літературі найбільш часто використовуваною моделлю є модель Гріншильда

$$v(\rho) = v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m}\right), \quad (1.1)$$

де ρ_m і ρ – максимальна і середня інтенсивність руху відповідно, а v_m – максимальна швидкість на дорозі. Це показує, що щільність і швидкість обернено пропорційні, тому швидкість зростає, коли щільність руху зменшується, і навпаки.

На рисунку 1.1 показано (1.1) з $\rho_m = 1$ і $v_m = 34$ м/с. Середня нормалізована щільність ρ змінюється від нуля до $\rho_m = 1$. За мінімальної щільності руху рух має максимальну швидкість. При вищій щільності швидкість зменшується і зрештою досягає нуля м/с для 100% щільності на дорозі.

Транспортний потік ρv на основі розподілу рівноважної швидкості наведено на рисунку 1.2, який дає інформацію про потік зі зміною щільності. Це показує, що потік трафіку є максимальним при нормованій щільності 0,5. 0,5 – це критична щільність, за межами якої транспортний потік зменшується зі збільшенням щільності і транспорт рухається в зону заторів.

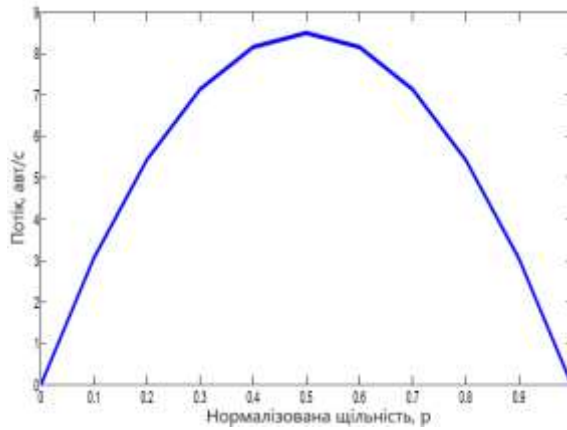


Рисунок 1.2 – Транспортний потік на основі розподілу швидкості Гріншильда

Існує три основних типи моделей руху. Макроскопічні моделі розглядають колективний потік транспортних засобів, тоді як мікроскопічні моделі використовуються для вивчення тимчасової та просторової поведінки водіїв на основі впливу транспортних засобів поблизу них. Мезоскопічні моделі поділяють властивості макроскопічних і мікроскопічних моделей трафіку, оскільки поведінка потоку трафіку в просторі-часі моделюється за допомогою розподілу ймовірностей і теорії масового обслуговування. У цьому випадку транспортні засоби моделюються на індивідуальному рівні, а сукупна поведінка апроксимується. Таким чином, розглядаються малі групи транспортних засобів та їх взаємодія. Приклади включають рішення про зміну смуги руху на основі розподілу швидкості та щільності, а також прискорення руху на основі розподілу швидкості. Макроскопічні моделі використовуються найчастіше через їх низьку складність і хорошу загальну продуктивність.

У макроскопічних моделях швидкість і щільність використовуються для визначення сукупної поведінки трафіку. Щільність ρ — це середня кількість транспортних засобів на відрізку дороги на одиницю довжини, а транспортний потік — це добуток швидкості v і щільності ρ , і тому вимірюється в термінах транспортних засобів за одиницю часу. Лайтхілл, Вітем і Річардс [2] розробили макроскопічну модель транспортного потоку (відому як модель LWR), яка базується на рівноважному потоці транспортних засобів. Вони припустили, що транспортні засоби регулюють свою швидкість за нульовий час [15], і ігнорували переходи в транспортному потоці.

Завдяки ретельному дослідженню поля було виявлено, що ще потрібно зробити деякі значні покращення. Найважливішим є коригування поведінки транспортного потоку на основі очікуваних умов руху.

У цій роботі досліджено макроскопічний клас трафіку, щоб точно змоделювати середню поведінку трафіку, яка добре відповідає реальності. Більш конкретно, просторове коригування щільності руху пропорційно очікуваним змінам руху, впливу реакції водія, розподілу транспортного потоку для досягнення очікуваних змін і якості маршруту будуть систематично досліджуватися.

Щоб оцінити продуктивність, у цій роботі використовується метод декомпозиції Роу для реалізації моделей потоку руху за двома рівняннями, тоді як схема Годунова використовується для реалізації моделі потоку руху за одним рівнянням.

1.2. Метод декомпозиції Роу

Моделі трафіку дискретизовані за допомогою методу декомпозиції Роу [11] для оцінки їх ефективності. Цей прийом можна використовувати для апроксимації нелінійної системи рівнянь

$$G_t + f(G)_x = S(G), \quad (1.2)$$

де G позначає вектор змінних даних, $f(G)$ позначає вектор функцій змінних даних, а $S(G)$ є вектор вихідних термінів. Індекси t і x позначають часткові похідні за часом і відстанню відповідно. Рівняння (1.2) можна виразити у вигляді

$$\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial G} \frac{\partial G}{\partial x} = S(G), \quad (1.3)$$

Де $\frac{\partial f}{\partial G}$ є градієнтом функції змінних даних відносно цих змінних. Нехай $A(G)$ — матриця Якобі системи. Тоді (1.3) можна записати у вигляді

$$\frac{\partial G}{\partial t} + A(G) \frac{\partial G}{\partial x} = S(G). \quad (1.4)$$

Встановлення вихідного члена в (1.4) до нуля дає квазілінійну форму

$$\frac{\partial G}{\partial t} + A(G) \frac{\partial G}{\partial x} = 0. \quad (1.5)$$

Змінними даних є щільність ρ і потік ρv як у RW, так і в покращених моделях. Техніка Роу використовується для лінеаризації матриці Якобі $A(G)$ шляхом її розкладання на власні значення та власні вектори. Він заснований на концепції, що змінні даних, власні значення та власні вектори залишаються збереженими для невеликих змін у часі та відстані. Ця техніка широко використовується, оскільки вона здатна фіксувати наслідки різких змін у змінних даних.

Розглянемо дорогу, поділену на N рівновіддалених сегментів і M кроків часу однакової тривалості. Загальна довжина дорівнює xN , тому сегмент має довжину $\delta x = xN/N$, а загальна тривалість часу дорівнює tM , тому крок у часі дорівнює $\delta t = tM/M$. Матриця Якобі апроксимована для відрізків дороги $(x_i + \frac{\delta x}{2}, x_i - \frac{\delta x}{2})$. Ця матриця отримана для всіх N сегментів у кожному часовому інтервалі (t_{m+1}, t_m) , де $t_{m+1} - t_m = \delta t$.

Нехай ΔG позначає зміну змінних даних G , а Δf відповідну зміну функцій змінних даних. Далі нехай G_i — середні значення змінних даних у i -му сегменті. Зміна потоку на межі i -го та $(i + 1)$ -го сегментів визначається як

$$\Delta f_{i+\frac{1}{2}} = A(G_{i+\frac{1}{2}}) \Delta G, \quad (1.6)$$

де $A(G_{i+\frac{1}{2}})$ — матриця Якобі на межі відрізка, а $G_{i+\frac{1}{2}}$ вектором змінних даних на межі, отриманим за допомогою методу Ро. Потік приблизно відповідає зміні щільності руху та потоку на межі сегмента. Потім

$$\Delta f_{i+\frac{1}{2}} = A(G_{i+\frac{1}{2}}) (G_{i+1} - G_i), \quad (1.7)$$

де використовується наближення $\Delta G = (G_{i+1} - G_i)$. Потім потік на межі між сегментами i та $i + 1$ у момент часу m апроксимується виразом

$$f_{i+\frac{1}{2}}^m(G_i^m, G_{i+1}^m) = \frac{1}{2} (f(G_i^m) + f(G_{i+1}^m)) - \frac{1}{2} \Delta f_{i+\frac{1}{2}}, \quad (1.8)$$

де $f(G_i^m)$ і $f(G_{i+1}^m)$ позначають значення функцій змінних даних на ділянках дороги i та $i+1$ відповідно в момент часу m . Підставляючи (1.7) у (1.8), отримуємо

$$f_{i+\frac{1}{2}}^m(G_i^m, G_{i+1}^m) = \frac{1}{2} (f(G_i^m) + f(G_{i+1}^m)) - \frac{1}{2} A(G_{i+\frac{1}{2}}) (G_{i+1}^m - G_i^m). \quad (1.9)$$

Це наближена зміна щільності та потоку без урахування джерела. Оновлені змінні даних отримують шляхом включення вихідного терміну, який дає

$$G_i^{m+1} = G_i^m - \frac{\delta t}{\delta x} \left(f_{i+\frac{1}{2}}^m - f_{i-\frac{1}{2}}^m \right) + \delta t S(G_i^m). \quad (1.10)$$

1.3. виправлення ентропії

Виправлення ентропії застосовано до техніки Роу для згладжування будь-яких розривів на межах сегмента [22]. Матриця Якобі $A(G_{i+\frac{1}{2}})$ розкладається на власні значення та власні вектори для апроксимації потоку на ділянках дороги (1.9). Таким чином, матриця Якобі для відрізків доріг замінюється рішенням фіксації ентропії, заданим як

$$e|\Lambda|e^{-1},$$

де $|\Lambda| = [\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_k, \dots, \hat{\lambda}_n]$ — діагональна матриця, яка є функцією власних значень λ_k матриці Якобі, а e – відповідна матриця власних векторів.

Схема фіксації ентропії Хартена та Хеймана [29] використовується тут і надається

$$\hat{\lambda}_k = \begin{cases} \hat{\delta}_k & \text{if } |\lambda_k| < \hat{\delta}_k \\ |\lambda_k| & \text{if } |\lambda_k| \geq \hat{\delta}_k \end{cases} \quad (1.11)$$

$$\text{якщо } \hat{\delta}_k = \max \left(0, \lambda_{i+\frac{1}{2}} - \lambda_i, \lambda_{i+1} - \lambda_{i+\frac{1}{2}} \right). \quad (1.12)$$

Це гарантує, що $\hat{\lambda}_k$ не є від'ємним і подібним на межах сегмента.

1.4. Модель транспортного потоку на основі передбачення

Реалістична характеристика щільності руху на дорозі має важливе значення при моделюванні руху. Ця характеристика необхідна для правильного узгодження з умовами прямого руху. Щоб реалістично передбачити зміну щільності трафіку, важливо, щоб швидкість залишалася в межах максимального та мінімального значень. Щільність руху змінюється відповідно до змін швидкості, і очікується розподіл щільності з низькою дисперсією при менших швидкостях, і навпаки. Трафік не може миттєво вирівнювати умови руху. Час,

необхідний для вирівнювання трафіку, відомий як час переходу, ttr . Відстань, необхідна для вирівнювання, — це відстань переходу, dtr , яка пройдена за час переходу. Відстань переходу — це відстань, необхідна для досягнення рівноважного розподілу швидкостей, коли спостерігається зміна потоку транспорту. Тому пропонується модель транспортного потоку, яка характеризує еволюцію щільності руху під час переходу на дорозі на основі швидкості.

У цій главі пропонується вдосконалення моделі PW таким чином, щоб просторове вирівнювання щільності трафіку відбувалося зі змінною швидкістю. Відомо, що модель PW створює нереалістичну коливальну поведінку при розривах руху. Така поведінка відповідає транспортному потоку зупинки та руху та зумовлена неадекватною характеристикою просторових змін щільності руху під час переходів. Передбачається, що коригування руху відбувається з постійною швидкістю, що може призвести до того, що швидкість на розривах перевищить максимум або буде нижче нуля, що неможливо. Передбачення водія залежить від середньої швидкості руху на переході v , розподілу рівноважної швидкості $v(\rho)$ і відстані переходу dtr . Введено термін очікування, який усуває неузгодженості моделі PW через плавний розподіл густини та швидкості [43], який передбачається для потоку транспортних засобів. Для дослідження коливальної поведінки моделі PW та ефекту вдосконалення моделі розглядається неактивне вузьке місце на прямих і кільцевих дорогах. Неактивне вузьке місце визначається як затор, що виникає внаслідок великої щільності або повільного руху транспортних засобів, що створює перехід у русі.

1.4.1. Моделі транспортних потоків

Пейн [1] і Вітхем [7] незалежно один від одного розробили модель із двома рівняннями для транспортного потоку, яка відома як модель Пейна-Вітема (PW). Перше рівняння моделює збереження руху на дорозі з постійною кількістю транспортних засобів. Друге рівняння моделює прискорення руху. Модель PW можна виразити як

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v \partial v}{\partial x} = -\frac{C_0^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \left(\frac{v(\rho) - v}{\tau} \right). \quad (2.2)$$

Параметри моделі зведені в таблицю 2.1. C_0 — константа швидкості, а τ — час релаксації для вирівнювання швидкостей руху. $\frac{v(\rho) - v}{\tau}$ є членом релаксації та враховує вирівнювання швидкості. Термін випередження є

$$\frac{C_0^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x},$$

і враховує просторові зміни щільності руху. Це функція просторового градієнта щільності $\frac{\partial \rho}{\partial x}$. Відповідно до члена релаксації рух пристосовується до рівноважного розподілу швидкостей. Коли рух досягає рівноважного розподілу швидкості, потік стає однорідним. Було запропоновано декілька моделей для $v(\rho)$, яка визначається розподілом густини [22]. Зазвичай використовуваною моделлю є

Таблиця 1.1 – Параметри моделі PW

термін	опис
ρ	Щільність
$v(\rho)$	Рівноважний розподіл швидкостей
ρv	Потік (Імпульс)
$\frac{C_0^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}$	Термін передбачення
$\frac{v(\rho) - v}{\tau}$	Релаксаційний термін
τ	Час релаксації
$\frac{v \partial v}{\partial x}$	Конвективне прискорення
$\frac{\partial v}{\partial t}$	Непостійне прискорення
$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v \partial v}{\partial x}$	Інерційний термін
C_0	Постійна швидкість

Модель Гріншилдса [20, 23], яка задана

$$v(\rho) = v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right), \quad (2.3)$$

де ρ_m і ρ – максимальна і середня інтенсивність руху відповідно, а v_m – максимальна швидкість на дорозі. Це показує, що щільність і швидкість обернено пропорційні, тому швидкість зростає, коли щільність руху зменшується, і навпаки. Інерційний член $\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v \partial v}{\partial x}$ враховує нестационарне

прискорення (відносно часу) та конвекційне прискорення (відносно змін у положеннях автомобіля).

Це функція просторової зміни щільності та члена релаксації.

У моделі PW просторова зміна щільності множиться на постійний коефіцієнт Co^2 з одиницями m^2/c^2 . Однак ця константа може врахувати лише невеликі зміни щільності прямого трафіку, тому великі зміни призводять до нереалістичної поведінки. При переривчастості щільності руху термін очікування може бути дуже великим. Таким чином, слід використовувати змінний термін очікування, який є функцією швидкості переходу.

Добре відоме кінематичне рівняння руху

$$a = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2d}, \quad (2.4)$$

де a — прискорення, V_f — кінцева швидкість, V_i — початкова швидкість, d — пройдена відстань. Оскільки V_f є швидкістю, яку потрібно досягти, її замінюють рівноважним розподілом швидкостей $v(\rho)$. Далі V_i замінюється на v , а d на відстань переходу d_{tr} . Перехідна відстань визначається як

$$d_{tr} = \tau v_m + l_s, \quad (2.5)$$

де l_s — відстань між транспортними засобами в стані стоянки [24]. Тоді (2.4) набуває вигляду

$$a(\rho) = \frac{v^2(\rho) - v^2}{2d_{tr}}, \quad (2.6)$$

має одиниці m/c^2 , що характеризує зміну швидкості під час переходів. Тоді зміна швидкості під час переходу на відстань x визначається як

$$\frac{\partial}{\partial x} a(\rho) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{2d_{tr}} \right). \quad (2.7)$$

Термін Co^2 у (2.2) можна замінити на (2.7), щоб врахувати зміни в щільності руху, коли відбувається перехід. Тоді реакція драйвера на розрив така, що швидкість нижча для великої щільності, і навпаки. Крім того, зміни щільності будуть більшими для менших перехідних відстаней. Швидкість руху не змінюється, якщо немає переходу в транспортному потоці, у цьому випадку $v = v(\rho)$, так що $a(\rho) = 0$. Отже, у цьому випадку коефіцієнт $\frac{\partial \rho}{\partial x}$ дорівнює нулю.

1.5. Результати моделювання

Продуктивність вдосконаленої та PW моделей оцінюється в цьому розділі за параметрами, наведеними в таблиці 1.2. Невідбиваючі граничні умови використовуються для першого прикладу для оцінки розвитку руху на прямій дорозі протягом 1,2 с. У другому прикладі використовуються періодичні граничні умови для руху по окружній дорозі протягом 6 с. Метою трафіку є рівноважний розподіл швидкості Гріншилда $v(\rho)$, визначений (2.3) з $v_m = 25$ м/с, $l_s = 7,5$ м і $d_{tr} = 20$ м. Обидві моделі оцінюються з використанням часу релаксації $\tau = 0,5$ с, який підходить для переходів на малих відстанях [27]. Крім того, для забезпечення точних чисельних результатів необхідне невелике значення δx . Отже, дорога довжиною $xN = 100$ м розділена на $N = 100$ рівних сегментів з $\delta x = 1$ м для обох прикладів. Виходячи з цього значення δx , для задоволення умови CFL [25] вибрано $\delta t = 0,006$ с. Отже, час $tM = 1,2$ с для першого прикладу ділиться на $M = 200$ інтервалів, а час $tM = 6$ с для другого прикладу ділиться на $M = 1000$ інтервалів. Початкова густина ρ_0 в момент часу $t=0$ с має такий розподіл

$$\rho_0 = \begin{cases} 0.01, & \text{for } x \leq 30; \\ 0.3, & \text{for } 30 < x < 60; \\ 0.1, & \text{for } x > 60, \end{cases} \quad (2.52)$$

яка охоплює перші 100 м дороги. Максимальна щільність на дорозі становить $\rho_m = 1$, що означає, що вона заповнена на 100%. Значення константи швидкості, що використовуються в літературі для моделі PW, коливаються від 2,4 м/с до 57 м/с для оцінки продуктивності при змінній щільності руху [12, 28, 29]. Таким чином, значення C_0 , які тут розглядаються, становлять 25 м/с і 5 м/с.

Випадок А

Поведінка швидкості для моделі PW з $C_0 = 25$ м/с на прямій дорозі наведена на рисунку 1.1, тоді як відповідна поведінка для вдосконаленої моделі PW наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. – Параметри моделювання

Назва	Параметр	Значення
Максимальна швидкість	vm	25 м/с
Рівноважний розподіл швидкостей	$v(\rho)$	Розподіл Гріншилда
Час релаксації	τ	0,5 с
Постійна швидкість	C_0	25,5 м/с
Довжина дороги	xN	100 м
Дорожній крок	δx	1 м
Часовий крок	δt	0,006 с
Відстань між автомобілями, що стоять	ls	7,5 м
Відстань переходу	dtr	20 м
Максимальна нормована щільність	ρm	1
Загальний час моделювання для випадку 1	tM	1,2 с
Кількість часових кроків для випадку 1	M	200
Загальний час моделювання для випадку 2	tM	6 с
Кількість часових кроків для випадку 2	M	1000
Кількість кроків дороги	H	100

Ці результати показують, що модель PW нереалістично реагує на різкі зміни щільності трафіку. Зокрема, коливальна поведінка спостерігається при швидкостях від 400 м/с до -120 м/с, що неможливо. І навпаки, покращена модель PW забезпечує реалістичні швидкості від 0 м/с до 25 м/с.

Покращена поведінка щільності моделі PW показано на рисунку 2.3. Спочатку щільність становить 0,01 від 0 до 30 м на дорозі, а відповідна швидкість становить 24,7 м/с на рисунку 1.2. Щільність 0,3 від 30 м до 60 м, а відповідна швидкість 17,5 м/с. Оскільки на відстані 60 м немає транспортних засобів, швидкість становить 25 м/с, що є максимально допустимою. За 60 м швидкість руху 22,4 м/с. З плином часу рух рухається вперед так, що через 1,2 с на перших

20 м дороги немає транспортних засобів, як показано на рисунку 2.3. Крім того, розрив прогресує і стає більш гладким, як і очікувалося. Зокрема, розрив переміщується від 30 до 45 м за 1,2 с, а щільність на розриві зменшується з 0,3 до 0,27. З результатів на рисунках 2.2 і 2.3 видно, що вдосконалена модель PW не демонструє коливальної поведінки, а щільність і швидкість залишаються в максимальних і мінімальних межах.

Поведінка щільності моделі PW показано на рисунку 1.4. У цьому випадку розрив призводить до коливань руху. Транспорт має рухатися вперед і залишати порожню дорогу позаду, але цифра вказує на те, що рух знаходиться значно позаду переходу. Крім того, щільність через 1,2 с падає до $-0,05$, що неможливо. Щільність між 30 і 80 м на дорозі повинна бути нижчою від максимального початкового значення 0,3 через 1,2 с, але фактично вона збільшується до 0,35 на 70 м. Це нереалістична поведінка, спричинена тим, що щільність моделі PW не змінюється відповідно до змін швидкості.

Поведінка транспортного потоку моделі PW наведена на рисунку 1.5. Ця цифра також вказує на транспортні засоби позаду переходу, хоча рух має рухатися вперед. Транспортний потік також падає нижче нуля до -2 машин/с. Відповідна поведінка потоку транспорту для вдосконаленої моделі PW наведена на рисунку 2.6 і показує плавний потік транспорту. При 1,2 с на дорозі до 20 м транспортний потік відсутній, тобто в цій області $\rho_v = 0$ авт/с. Крім того, транспортний потік при $t = 0$, коли щільність дорівнює 0,3, становить 5,25 транспортних засобів/с, і, як і очікувалося, він зменшується з відстанню та часом.

Поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 5$ м/с на прямій дорозі за період 7,8 с показана на рисунку 2.7. Максимальна та мінімальна швидкості, що спостерігаються, становлять 1200 м/с та -10 м/с відповідно, що вказує на те, що навіть із малим значенням C_0 продуктивність є нереальною.

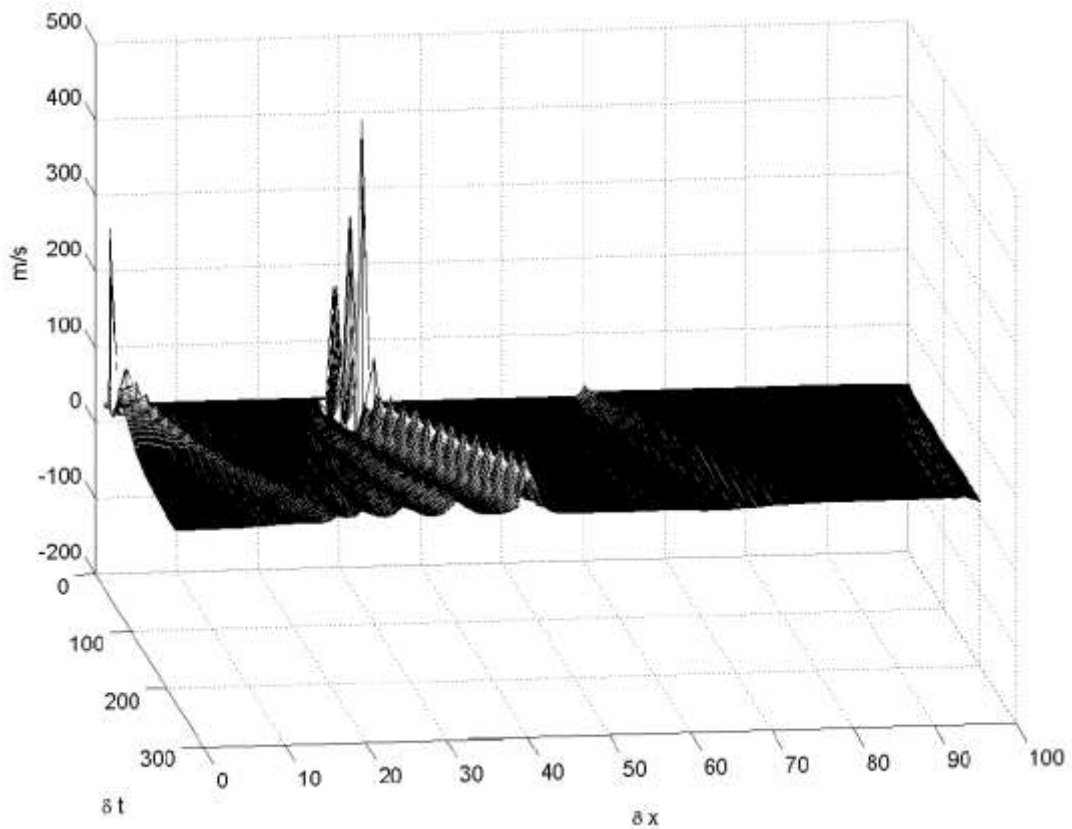
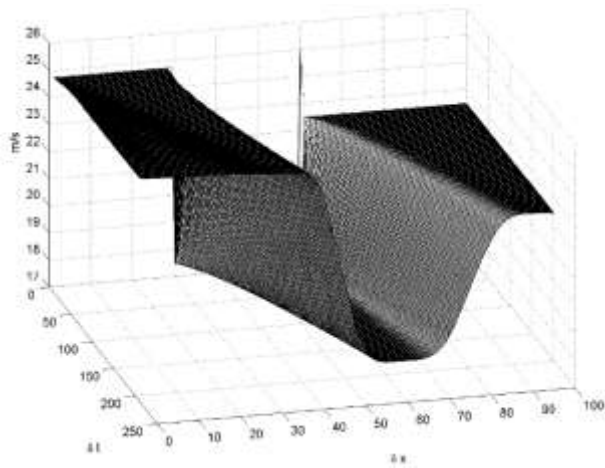


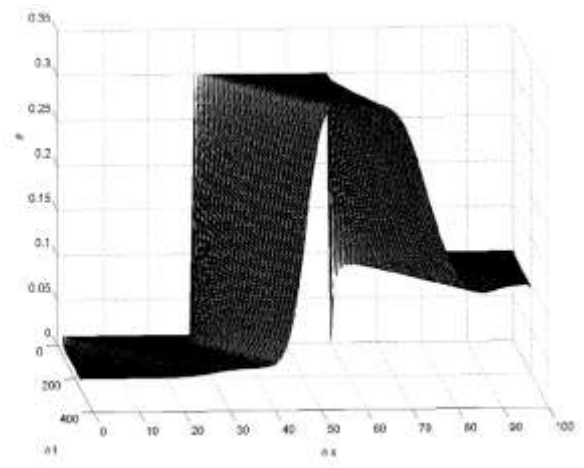
Рисунок 1.3 – Поведінка швидкості моделі PW на прямій дорозі з $C_0 = 25$ м/с

Випадок 2

На рисунках нижче показані характеристики покращеної та PW моделі відповідно на кільцевій дорозі. Покращена поведінка щільності моделі PW наведена на рисунку 2.8. Від 75 до 100 м, а потім від 0 до 10 м щільність руху за $t = 6$ с є приблизно рівномірною на 0,1. Від 10 до 75 м є скупчення транспортних засобів. Щільність цього скупчення коливається від 0,08 на 27 м до 0,2 на 40 м. Покращена поведінка швидкості моделі PW показано на рисунку. Від 75 до 100 м, а потім від 0 до 10 м при $t = 6$ с швидкість приблизно рівномірна і становить 22,5 м/с. Швидкість всередині скупчення коливається від 20 до 23,3 м/с. Це реалістична поведінка руху в межах максимальної та мінімальної швидкостей.



а)

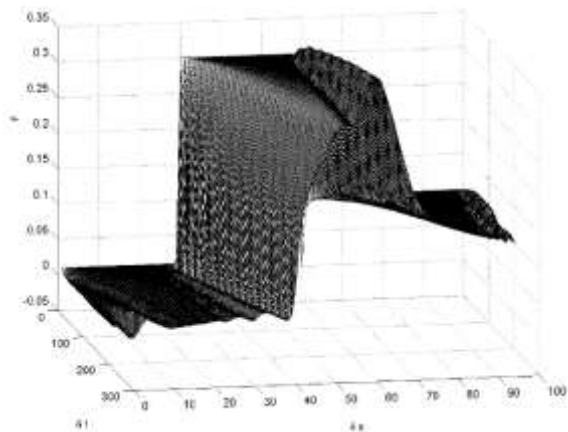


б)

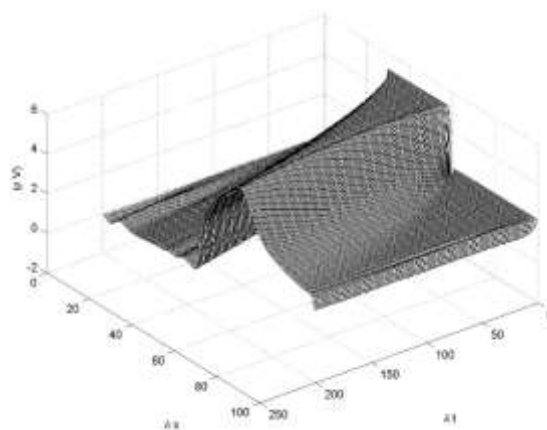
Рисунок 1.4 – Удосконалена модель PW поведінка швидкості на прямій дорозі

Відповідна поведінка транспортного потоку показана на рисунку 1.10. При $t = 6$ с рух між 75 і 100 м, а потім від 0 до 10 м має приблизно рівномірний потік 2,25 транспортних засобів/с. Потік у скупченні змінюється від 1,7 авт/с на висоті 27 м до 4,2 авт/с на висоті близько 40 м. Як і очікувалося, потік транспорту великий там, де висока щільність, і навпаки.

Модель PW створює коливальний потік транспорту на окружній дорозі, як показано на рисунках нижче. Відповідна поведінка щільності наведена на рисунку 1.11 і вказує на те, що рух поділяється на дев'ять невеликих кластерів з прольотом приблизно 10 м, що дуже близько. Мінімальна щільність 0,01 спостерігається на 20 м від дороги, але щільність дуже мала між кластерами. Поведінка швидкості моделі PW наведена на рисунку 1.12. Це показує, що швидкість змінюється від 1400 м/с до -120 м/с через 0,4 с, що неможливо. Далі, за 6 с середня швидкість становить 64 м/с, яка перевищує максимальну швидкість 25 м/с, і відбуваються різкі зміни швидкості.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Поведінка щільності та поведінка потоку моделі PW на прямій дорозі з $C_0 = 25$ м/с

В середньому всередині скупчень швидкість змінюється на 30 м/с на відстані 5 м, що нереально. Найгірший випадок відбувається поблизу 20 м, коли швидкість різко змінюється від 23 м/с до 64 м/с, а потім падає до 14 м/с поблизу 25 м. Потік у скупченнях змінюється на 2,5 авт/с на прольоті 10 м, що є дуже великим, враховуючи малу відстань. Наведені результати показують, що вдосконалена модель має реалістичну поведінку навіть за різкої зміни щільності. І навпаки, модель PW створює коливальну поведінку транспортного потоку за тих самих умов.

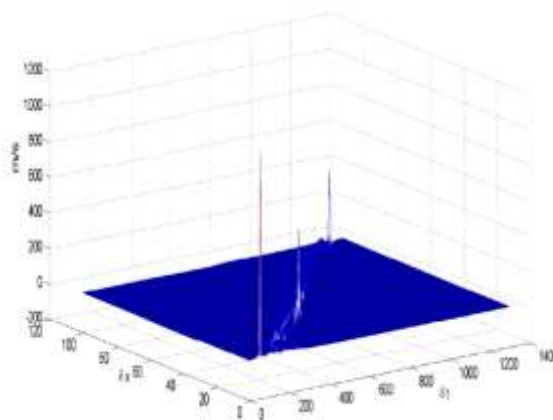
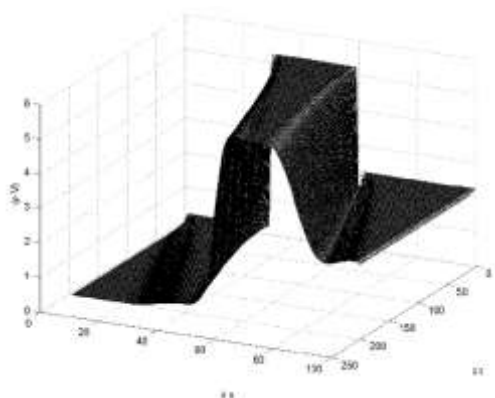


Рисунок 1.6 – Удосконалена поведінка потоку та поведінка швидкості моделі PW на прямій дорозі з $C_0 = 5$ м/с.

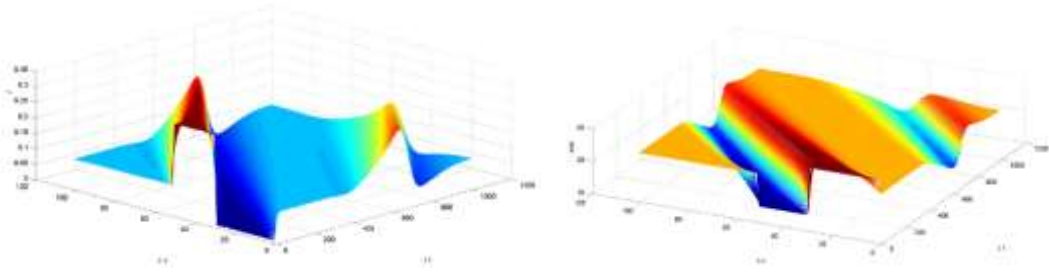


Рисунок 1.7 – Удосконалена поведінка щільності моделі PW на кільцевій розв'язці

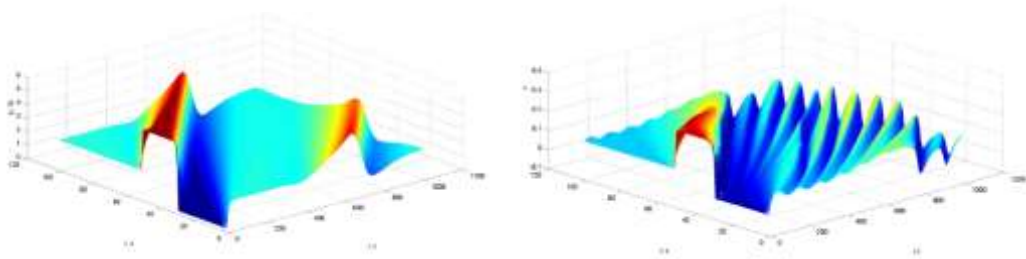


Рисунок 1.8 – Удосконалена модель PW поведінка потоку та поведінка щільності моделі на кільцевій дорозі з $C_0 = 25$ м/с

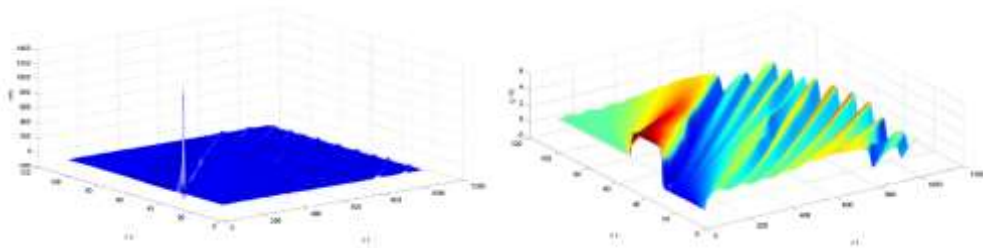


Рисунок 1.9 – Поведінка швидкості моделі PW та поведінка потоку моделі на кільцевій дорозі з $C_0 = 25$ м/с

Висновки до розділу

Отже, модель PW створює коливальну поведінку руху при розривах щільності. Крім того, коливання швидкості значно перевищують максимум і нижче мінімуму, і зміни як швидкості, так і щільності дуже швидкі. Ці нереалістичні результати пов'язані з тим, що модель PW регулює трафік із постійною швидкістю незалежно від переходів на дорозі. Була представлена покращена модель PW, в якій транспортний потік залежить від різниці між рівноважною швидкістю та поточною швидкістю. Ця модель набагато краще працює при перервах руху. Це усуває коливальну поведінку, яка виникає з моделлю PW, і обмежує швидкість реалістичними значеннями.

2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Хвильова модель

2.1.1. Типова хвильова модель транспортного потоку

Модель LWR описує розподіл транспортного потоку у вигляді хвиль, які рухаються зі своєю власною швидкістю та щільністю. Модель LWR є першою макроскопічною моделлю руху, яка була широко прийнята, заснований на принципі збереження матерії і наведений [2]

$$(\rho)_t + (\rho v(\rho))_x = 0, \quad (2.1)$$

де ρ – розподіл густини, а $v(\rho)$ – рівноважний розподіл швидкостей. Індеси t і x позначають часткову похідну за часом і простором відповідно. Модель LWR підтримує збереження транспортного засобу на дорозі, тому передбачає відсутність виїздів чи в'їздів. Також передбачається плавний розподіл інтенсивності руху на дорозі. Рух після рівноважного розподілу швидкостей призводить до однорідного потоку транспорту. Цей розподіл однозначно визначається розподілом щільності. Цей розподіл характеризує поведінку руху на дуже довгій або нескінченній ідеалізованій дорозі. Ідеалізована дорога не має жодних порушень для однорідного потоку руху. Проблема цієї моделі полягає в тому, що транспортні засоби регулюють свою швидкість за нульовий час, що нереально. Як наслідок, модель LWR не враховує перехідну поведінку руху. Під час переходу розподіл щільності трафіку змінюється, оскільки трафік регулює свою швидкість. Це коригування відбувається протягом безпечного періоду часу та призводить до неоднорідного транспортного потоку, що неможливо з моделлю LWR [25].

2.1.2. Покращена хвильова модель

Трафік адаптується до рівноважного розподілу швидкості відповідно до очікуваної зміни швидкості. Ця зміна швидкості призводить до прискорення, що визначається як

$$a(\rho) = \frac{v(\rho)^2 - v_a^2}{2d_s}, \quad (2.2)$$

де $v(\rho)$ — рівноважний розподіл швидкості, v_a — середня швидкість руху на переході, $a(\rho)$ — розподіл прискорення, коли транспортні засоби переміщуються через безпечну відстань d_s протягом безпечного часу t_s . $v(\rho)$ — розподіл швидкості, якого трафік намагається досягти, коли відбувається перехід. Для моделі LWR розподіл швидкості можна виразити як

$$v(\rho) = a(\rho)t_s \quad (2.3)$$

Підстановка (2.3) у (2.1) дає

$$(\rho)_t + (\rho a(\rho)t_s)_x = 0, \quad (2.4)$$

Тепер заміна (2.2) у (2.4) призводить до

$$(\rho)_t + \left(\rho \left(\frac{v(\rho)^2 - v_a^2}{2d_s} \right) t_s \right)_x = 0. \quad (2.5)$$

Підстановка рівноважного розподілу швидкостей (1.1) у (2.5) дає

$$(\rho)_t + \left(\rho \left(\left(v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right) \right)^2 - v_a^2 \right) \frac{t_s}{2d_s} \right)_x = 0. \quad (2.6)$$

Безпечна швидкість $v_s = \frac{d_s}{t_s}$, тому (2.6) можна записати у вигляді

$$(\rho)_t + \left(\left(\left(v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right) \right)^2 - v_a^2 \right) \frac{\rho}{2v_s} \right)_x = 0. \quad (2.7)$$

Визначте транспортний потік під час переходу як

$$q(\rho) = \left(\left(v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right) \right)^2 - v_a^2 \right) \frac{\rho}{2v_s}, \quad (2.8)$$

яка є функцією безпечної швидкості. Для меншої безпечної швидкості перехід буде швидшим і навпаки. Тобто транспортні засоби, які дотримуються великої безпечної дистанції, матимуть повільні переходи та меншу взаємодію між транспортними засобами, тоді як менша безпечна

дистанція призводить до швидких переходів і високої взаємодії між транспортними засобами. Якщо переходу немає, v_a можна вважати нульовим, тому потік транспортного потоку (2.8) стає таким

$$q(\rho) = \left(v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right) \right)^2 \frac{\rho}{2v_s}. \quad (2.9)$$

Це показує, що транспортний потік при розподілі рівноважної швидкості залежить від безпечної швидкості, яка не враховується в моделі LWR. Транспортний потік зменшується до потоку моделі LWR, якщо безпечна швидкість становить половину розподілу рівноважної швидкості

як заміна $v_s(\rho) = \frac{v(\rho)}{2}$ в (2.9) дає

$$q(\rho) = \left(v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m} \right) \right) \rho, \quad (2.10)$$

і використання (1.1) призводить до

$$q(\rho) = \rho v(\rho), \quad (2.11)$$

так що використання (2.10) і (2.11) з (2.7) дає модель LWR

$$(\rho)_t + (\rho v(\rho))_x = 0. \quad (2.12)$$

Отже, вдосконалена модель LWR може враховувати як однорідні, так і неоднорідні транспортні потоки.

2.1.3. Оцінка ефективності

Розглянемо дорогу, поділену на N рівновіддалених сегментів і M кроків часу однакової тривалості. Загальна довжина дорівнює x_N , тому сегмент має довжину $h = x_N/N$, а загальна тривалість часу дорівнює t_M , тому крок у часі дорівнює $k = t_M/M$. Кількість транспортних засобів, присутніх у n -му сегменті в момент часу t , визначається як

$$l_n(t) = \int_{x_{n-\frac{h}{2}}}^{x_{n+\frac{h}{2}}} \rho(x, t) dx, \quad (2.13)$$

і транспортний потік через цей сегмент у момент часу $t \in$

$$\Delta l_n(t) = q(\rho(x_{n-\frac{h}{2}}, t)) - q(\rho(x_{n+\frac{h}{2}}, t)). \quad (2.14)$$

Тоді транспортний потік через n -й сегмент протягом інтервалу часу (t_m, t_{m+1}) дорівнює

$$l_n(t_{m+1}) - l_n(t_m) = \int_{t_m}^{t_{m+1}} \Delta l_n(t) dt = \int_{t_m}^{t_{m+1}} (q(\rho(x_{n-\frac{h}{2}}, t)) - q(\rho(x_{n+\frac{h}{2}}, t))) dt. \quad (3.15)$$

Використовуючи (2.13), (2.15) набуває вигляду

$$\int_{x_{n-\frac{h}{2}}}^{x_{n+\frac{h}{2}}} \rho(x, t_{m+1}) dx - \int_{x_{n-\frac{h}{2}}}^{x_{n+\frac{h}{2}}} \rho(x, t_m) dx = \int_{t_m}^{t_{m+1}} (q(\rho(x_{n-\frac{h}{2}}, t)) - q(\rho(x_{n+\frac{h}{2}}, t))) dt. \quad (3.16)$$

Середня щільність на кроці часу m для n -го сегмента становить

$$\rho(n, m) = \frac{1}{h} \int_{x_{n-\frac{h}{2}}}^{x_{n+\frac{h}{2}}} \rho(x, t_m) dx, \quad (2.17)$$

і відповідний потік є

$$q(n, m) = \frac{1}{k} \int_{t_m}^{t_{m+1}} q(\rho(x_{n-\frac{h}{2}}, t)) dt. \quad (2.18)$$

Підставляючи (2.17) і (2.18) у (2.16), отримуємо

$$\rho(n, m+1) - \rho(n, m) = \frac{k}{h} (q(n, m) - q(n+1, m)), \quad (2.19)$$

Для моделі LWR $q(\rho) = \rho v(\rho)$, а для вдосконаленої моделі LWR $q(\rho)$ визначається формулою (2.8). Транспортний потік має початковий розподіл щільності $\rho_0(x)$ при $t = 0$, який використовується для визначення початкової середньої щільності при $t = 0$.

Для встановленого періоду часу (t_m, t_{m+1}) .

$$\rho(x, t) = \rho(n, m) \quad \text{для } x_{n-\frac{1}{2}h} < x < x_{n+\frac{1}{2}h} \quad (2.20)$$

Для врахування як збільшення, так і зменшення потоків $q(\rho(x, t))$ апроксимується як

$$q(\rho(x, t)) = \begin{cases} q(\min(\rho(n-1, m), \rho(n, m))), & \text{if } \rho(n-1, m) \leq \rho(n, m) \\ q(\max(\rho(n, m), \rho(n-1, m))), & \text{if } \rho(n-1, m) > \rho(n, m). \end{cases} \quad (2.21)$$

Крок за часом слід вибрати таким чином, щоб максимальна відстань, яку долає трафік за цей час, не перевищувала години

$$|q'(\rho)|_{max} \times k < h, \quad (2.22)$$

де $|q'(\rho)|_{max}$ – максимальна швидкість зміни при $t = 0$, задана формулою

$$\max \left(\frac{q(\Delta\rho)}{\Delta\rho} \right) = \max \left(\frac{q(\rho(n, 0)) - q(\rho(n - 1, 0))}{\Delta\rho} \right). \quad (2.23)$$

Тоді встановлюється часовий крок k

$$k = 0.5 \times \frac{h}{|q'(\rho)|_{max}}, \quad (2.24)$$

що забезпечує збіжність розв'язку [46].

2.1.4. Результати моделювання

Параметри моделювання зведені в таблицю 2.1. Спостереження за рухом здійснюється протягом трьох секунд при проходженні дороги від 20 м до 200 м. Дорога починається з 20 м, так що рух може початися рівномірно розподіленим навколо нуля, а розглянута довжина дороги становить $xN = 220$ м з $N = 450$, так що $h = 0,489$ м. Максимальна швидкість становить $v_m = 30$ м/с, а максимальна нормалізована щільність становить 0,2, тобто 20% від максимальної щільності, яку може прийняти довжина дороги. Початковий розподіл щільності руху становить $\rho_0(x) = 0.09 \exp\left(\frac{-x^2}{60}\right)$ і є однаковим як для LWR, так і для вдосконалених моделей LWR. Початковий інтервал густини $\Delta\rho$ встановлюється на 0,0004 для оцінки $|q'(\rho)|_{max}$, і це використовується в (2.24) для визначення k . Граничні умови такі, що транспортні засоби можуть рухатися за межі 200 м. Розподіл щільності руху змінюється з часом по довжині дороги згідно з методикою, представленою в Розділі 3.3. Спостерігаються переходи від середніх швидкостей переходу $v_a = 0$ і 10 м/с до рівноважного розподілу швидкостей (1.1) з $v_m = 30$ м/с.

На рисунку 2.1 показано зміну щільності руху з моделлю LWR за 0 с, 1,5 с і 3 с. На рисунках 2.2, 2.3 і 2.4 показано відповідні результати для

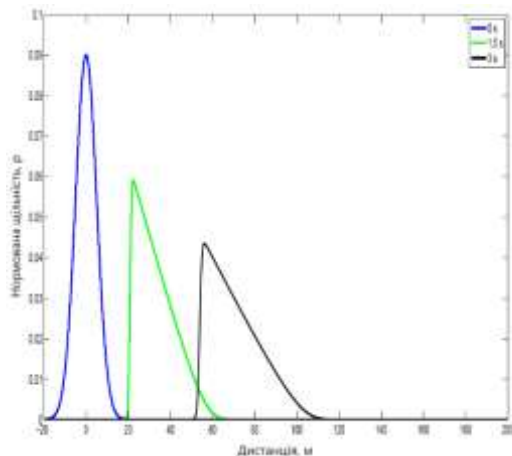
вдосконаленої моделі LWR. Початкова щільність показана синім кольором. Модель LWR може характеризувати лише транспорт, що рухається з рівноважним розподілом швидкостей, оскільки вона ігнорує неоднорідний транспортний потік. Так, на рисунку 3.1 зображено транспортний потік при рівноважній швидкості з максимальною швидкістю 30 м/с.

На рисунках 2.2 і 2.3 показано вдосконалену модель LWR для безпечних швидкостей 20 м/с і 10 м/с відповідно, з $v_a = 10$ м/с. Вважається, що безпечні відстані для цих швидкостей становлять 20 м і 10 м відповідно. Під час переходів транспорт адаптує свою швидкість від $v_a = 10$ м/с до рівноважного розподілу швидкості з максимальною швидкістю 30 м/с. Результати на цих рисунках показують, що транспорт рухається повільніше з безпечною швидкістю 20 м/с порівняно з безпечною швидкістю 10 м/с. За 1,5 с щільність руху на рис. 3.2 становить від 23 до 83 м, а на рис. 2.3 — від 65 до 155 м. Таким чином, щільність руху має більшу дисперсію при нижчих безпечних швидкостях, і ця швидкість має значний вплив на поведінку руху. Ця дисперсія більша, ніж у моделі LWR, як показано на рисунку 2.1. Середня пройдена відстань вища за нижчих безпечних швидкостей, оскільки транспортні засоби дотримуються невеликої безпечної дистанції. На рисунку 2.4 показано вдосконалену поведінку моделі LWR з адаптацією руху від швидкості 0 м/с до рівноважного розподілу швидкості з максимальною швидкістю 30 м/с з безпечною швидкістю 20 м/с. Між рисунками 2.2 і 2.4 немає істотної різниці, яка показує, що середня швидкість переходу мало впливає на поведінку руху.

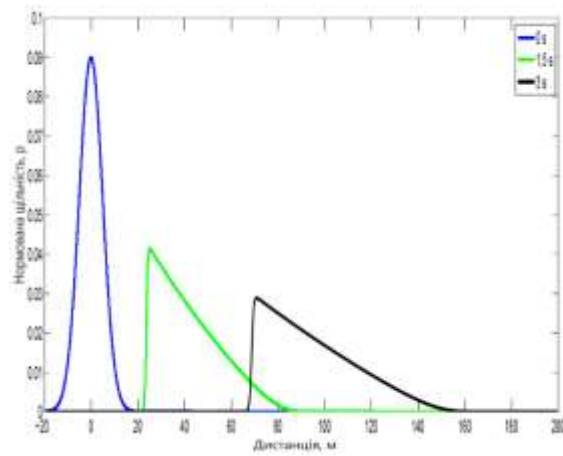
Модель LWR не може точно моделювати рух транспортних засобів, оскільки вона враховує лише умови однорідного потоку [12]. Таким чином, він не фіксує варіації потоку транспорту та не включає безпечну відстань і час. Вона також не враховує переходи, коли відбуваються різкі зміни щільності.

Таблиця 2.1 – Параметри моделювання

Ім'я	Параметр	Значення
середня швидкість переходу	v_a	0,10 м/с
рівноважний розподіл швидкостей	$v(\rho)$	Рівняння Гріншилдса
максимальна швидкість	v_m	30 м/с
початковий розподіл щільності	$\rho_0(x)$	$0.09 \exp\left(\frac{-x^2}{50}\right)$
довжина дороги	x	220 м.
кількість кроків дороги	N	450
довжина сегмента	h	$220/450 = 0,489$ м
безпечна швидкість	v_s	10, 20 м/с
нормована максимальна щільність	ρ_m	0,2
початковий інтервал щільності	$\Delta\rho$	0,0067 с
крок часу для моделі LWR	k	0,0102 с
крок за часом для вдосконаленої моделі LWR, $v_a = 10$ м/с, $v_s = 20$ м/с	k	
крок за часом для вдосконаленої моделі LWR, $v_a = 0$ м/с, $v_s = 20$ м/с	k	0,0091 с
крок за часом для вдосконаленої моделі LWR, $v_a = 10$ м/с, $v_s = 10$ м/с	k	0,0051 с
Загальний час моделювання	t_M	3 с



а)



б)

Рисунок 2.1 – а) поведінка руху з моделлю LWR з $v_m = 30$ м/с та б) покращена поведінка моделі LWR з $v_m = 20$ м/с, $v_a = 20$ м/с і $v_s = 10$ м/с

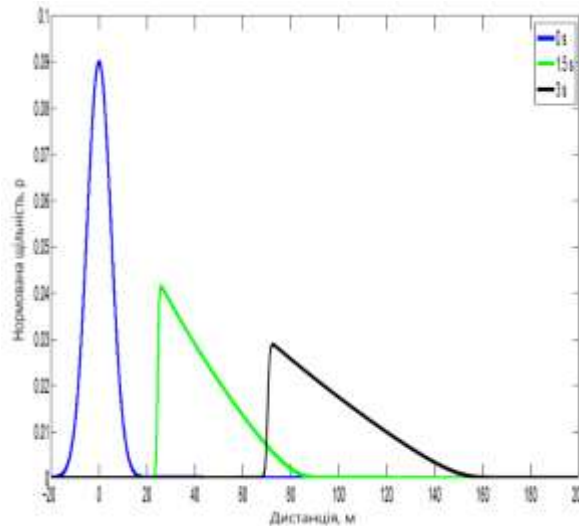


Рисунок 2.2 – Покращена поведінка моделі LWR а) $z = 10$ м, $v = 10$ м/с $i = 10$ м/с та б) $z = 20$ м, $v = 20$ м/с $i = 0$ м/с

У зв'язку з цими недоліками була розроблена вдосконалена модель LWR, яка включає зміни в поведінці швидкості під час переїздів на основі безпечного часу та відстані. Було представлено результати продуктивності, які показують, що ця модель забезпечує більш реалістичну характеристику поведінки транспорту. Тому це забезпечить більш реалістичні результати, які можна використовувати для зменшення споживання палива та покращення якості повітря.

2.2. Модель транспортного потоку на основі вирівнювання

Розробка простої реалістичної моделі для характеристики транспортного потоку призведе до кращого контролю за дорожнім рухом, щоб зменшити затори, знизити рівень забруднення та підвищити громадську безпеку.

Існує вдосконалена модель PW, використовуючи той факт, що очікування водія базується на швидкості руху вперед, так що поведінка руху залежить від швидкості під час переходів. Було показано, що ця модель забезпечує більш реалістичний потік і щільність трафіку. Чутливість трафіку

- це швидкість, з якою відбувається вирівнювання. Обмеження моделі Хана-Гуллівера (KG) полягає в тому, що ця чутливість залежить лише від часу релаксації τ . Для високих швидкостей τ є малим, тому вирівнювання руху може відбуватися надто швидко, тоді як при низьких швидкостях τ є великим, тому вирівнювання може бути дуже повільним. Як наслідок, ця модель не має достатньої гнучкості, щоб правильно охарактеризувати поведінку трафіку.

Пропонується вдосконалена модель KG для забезпечення більш реалістичної поведінки дорожнього руху в діапазоні від кластерів транспортних засобів до рівномірного потоку. Переходи в потоці відбуваються, коли транспортні засоби в'їжджають або виїжджають на сполучні дороги, або коли на дорозі є перешкоди чи вузькі місця. На отримане вирівнювання впливає безпечна швидкість і поведінка потоку. Безпечна швидкість — це відношення безпечної відстані до безпечного часу

$$v_s = \frac{d_s}{t_s}.$$

Розподіл щільності руху має більшу дисперсію при нижчих безпечних швидкостях [19], і зміни цього розподілу під час вирівнювання залежать від коригувань швидкості, необхідних для адаптації до рівноважного розподілу швидкостей. У запропонованій моделі введено параметр для регулювання поведінки транспортного потоку, тому ці коригування є відповідними. При великому значенні регулювання потоку потік перетворюється на велику кількість малих кластерів. Навпаки, потік транспорту більш рівномірний з невеликим значенням. Це значення можна вибрати на основі реальних даних про трафік, щоб точно моделювати поведінку трафіку.

2.2.1. Моделі транспортних потоків

Модель KG розроблена для характеристики поведінки транспортного потоку відповідно до умов швидкості руху. Модель KG у стандартному вигляді наведена

$$\rho t + (\rho v)x = 0 \tag{3.1}$$

$$(\rho v)_t + \left(\frac{(\rho v)^2}{\rho} + \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{2d_{tr}} \right) \rho \right)_x = \rho \left(\frac{v(\rho) - v}{\tau} \right), \quad (3.2)$$

де нижні індекси t та x позначають тимчасову та просторову похідні відповідно. ρ і v – щільність руху та середня швидкість відповідно, так що ρv – потік, $v(\rho)$ — рівноважний розподіл швидкостей, а d_{tr} — відстань переходу. Велика середня швидкість призводить до малого часу релаксації, тому вирівнювання може бути дуже швидким і викликати нереалістичну поведінку.

Вихідним членом у (3.2) є

$$\rho \left(\frac{v(\rho) - v}{\tau} \right), \quad (2.3)$$

що вказує на те, що вирівнювання руху відбувається відповідно до різниці між середньою швидкістю та розподілом рівноважної швидкості. Насправді вирівнювання відбувається швидше на вищих швидкостях, тому воно не повинно бути функцією лише цієї різниці. Після вирівнювання джерело дорівнює нулю ($v = v(\rho)$), і потік трафіку є плавним. Чутливість цього терміна визначається

$$\zeta_1 = \frac{1}{\tau}, \quad (2.4)$$

і це визначає, як швидко відбудеться вирівнювання з урахуванням інших параметрів у (3.3). Таким чином, це може мати значний вплив на поведінку транспорту. Однак ζ_1 залежить лише від часу релаксації τ , якого може бути недостатньо для створення відповідної поведінки руху.

Наступна модель руху, заснована на подразниках прямого руху, була представлена в [29]

$$\rho_t + \left(\rho \left(\frac{v(\rho)^2 - v^2}{2v_s} \right) \right)_x = 0. \quad (2.5)$$

Ця модель була використана для характеристики поведінки трафіку під час переходів, а також коли потік плавний [29]. RHS (3.5) дорівнює нулю, тому що рух транспорту вважається нескінченною довгою дорогою без переходів через вихід або вхід транспортних засобів у потік. Термін очікування цієї моделі

$$\rho \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{2v_s} \right), \quad (2.6)$$

характеризує можливість водія щодо змін у прямому русі. У цій моделі вирівнювання руху є квадратичною функцією швидкості. Крім того, чутливість (3.6) дорівнює

$$\zeta_2 = \frac{1}{2v_s}, \quad (2.7)$$

тому це також є функцією безпечної відстані та безпечного часу, а вирівнювання відбувається відповідно до оберненої безпечної швидкості.

У цій главі пропонується вдосконалена модель KG для виходу та входу в транспортний потік шляхом характеристики реакції водія за допомогою (2.6). Якщо рівноважна швидкість $v(\rho)$ більша, ніж середня швидкість v , відбувається прискорення, і вирівнювання відбудеться зі швидкістю, більшою за v . І навпаки, якщо $v(\rho)$ менше, ніж v , відбувається уповільнення, і вирівнювання відбудеться за швидкістю, менша за v . Це можна охарактеризувати чисельником (2.6). Крім того, вирівнювання залежить від фізіологічної та психологічної реакції водіїв. Цю поведінку можна охарактеризувати за допомогою знаменника (2.6). Для забезпечення гнучкості в запропонованій моделі число 2 у (2.6) замінено на значення регулювання потоку b . Невелике значення b створить більш рівномірний потік, тоді як велике значення призведе до кластерного трафіку. Новий вихідний термін тоді

$$\rho \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{b \frac{d_r}{v_s}} \right). \quad (2.8)$$

Безпечна відстань складається з відстані реакції d_r і відстані переходу d_{tr} , так що

$$\zeta_3 = \frac{1}{b \left(\frac{d_r + d_{tr}}{v_s} \right)}. \quad (2.9)$$

Психологічна реакція водія характеризується дистанцією переходу, а фізіологічна – дистанцією реакції. Приручений водій реагує повільно, і йому потрібно більше часу, щоб сприйняти та обробити умови дорожнього руху.

Таким чином, вони матимуть велику реакцію та відстань переходу, щоб вирівняти трафік. Крайнім прикладом приборканого водія є людина в стані алкогольного сп'яніння, яка дуже повільно реагує. Для прирученого або розсіяного водія b має бути великим. І навпаки, збуджений або агресивний водій матиме малу реакцію та дистанцію переходу, тому b має бути малим.

Заміна вихідного терміна в моделі KG (покращена модель) на (2.8) дає нову модель

$$(\rho v)_t + \left(\frac{(\rho v)^2}{\rho} + \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{2d_{tr}} \right) \rho \right)_x = \rho \left(\frac{v^2(\rho) - v^2}{bv_s} \right). \quad (2.10)$$

Зауважимо, що (2.1) не змінюється.

2.2.2. Результати моделювання

Ефективність запропонованої моделі оцінюється в цьому розділі та порівнюється з моделлю KG на кільцевій дорозі довжиною $xM = 100$ м. Використовується розривний розподіл густини ρ_0 при $t = 0$ з періодичними граничними умовами. ρ_0 показано на рисунках синім кольором. Рівноважний розподіл швидкостей Гріншильда, поданий у (1.1), використовується з $v_m = 34$ м/с і максимальною густиною $\rho_m = 1$. Безпечна відстань становить 28 м, безпечний час $t_s = 1,4$ с, а d_{tr} становить 20 м. Для моделі KG $\tau = 1$ с. Загальний час моделювання 30 с. Виходячи з $\delta x = 1$ м, крок за часом вибрано як $\delta t = 0,01$ с, щоб задовольнити умову CFL [16]. Кількість кроків у часі та кроків у дорозі становить 3000 і 100 відповідно як для моделей KG, так і для покращених моделей KG. Параметри регулювання потоку, які розглядаються для вдосконаленої моделі, є $b = 1$ і 2 . Параметри моделювання підсумовані в таблиці 2.1.

На рисунку 2.1 представлено нормалізовану щільність трафіку з моделлю KG у чотири різні моменти часу. Це показує, що рух складається з двох кластерів транспортних засобів. Через 5 с поведінка щільності трохи коливається. Однак через 15 с щільність руху за межами 50 м має майже рівномірний рівень 0,09, а між 0 і 50 м є два кластери транспортних засобів.

Щільність трафіку цих кластерів коливається від 0,1 до 0,21. Обидва кластери охоплюють відстань приблизно 20 м. Через 30 с щільність руху між 0 і 40 м має майже рівномірну щільність 0,09, тоді як за 40 м є два кластери. Скупчення все ще охоплюють відстань близько 20 м, тому вони просто перемістилися з часом. Перше скупчення має максимальну щільність 0,25 на 50 м, а друге максимальну щільність 0,2 на 78 м.

Таблиця 2.2 – Параметри моделювання

Ім'я	Параметр	Значення
дорожній крок	δx	1 м
рівноважна швидкість	$v(\rho)$	Розподіл швидкостей Гріншильда
максимальна швидкість	vm	34 м/с
дорожній крок	δx	1 м
часовий крок	δt	0,01 с
безпечна відстань	ds	28 м. вул
відстань переходу	dtr	20 м
безпечний час	ζ	1,4 с
безпечна швидкість	$проти$	$\frac{28}{1.4}$ ≈ 20 м/с
нормований загальний час моделювання	ρ_m	
максимальної щільності	t_M	
параметр регулювання потоку	b	
постійна часу релаксації	τ	30 с
кількість часових кроків	M	1,2
кількість кроків дороги	N	1 с
		3000
		100

На рисунку 2.2 представлено нормалізовану щільність руху з удосконаленою моделлю KG і $b = 1$ с у чотири різні моменти часу. Це показує, що з малим значенням b трафік з часом стає досить плавним. За 5 с зміна щільності руху коливається від 0,07 до 0,17, тоді як за 15 с ця варіація становить 0,1–0,14, а за 30 с – лише 0,12–0,13.

На рисунку 2.3 представлено нормалізовану поведінку щільності руху з удосконаленою моделлю KG і $b = 2$ с у чотири різні моменти часу. Існують більші варіації щільності, ніж з $b = 1$, але менші, ніж з моделлю KG. Трафік

розвивається у два кластери з плавною щільністю між ними. Зміна щільності становить від 0,09 до 0,16 за 15 с і від 0,1 до 0,15 за 30 с.

На рисунку 2.4 представлено поведінку щільності руху за допомогою моделі KG протягом 30 с (3000 кроків часу) для 100 кроків дороги. Це показує, що трафік з часом перетворюється на кластери. На рисунку 2.5 представлено поведінку щільності із запропонованою моделлю та $b = 1$. У цьому випадку трафік стає більш рівномірним з часом. Поведінка щільності руху для запропонованої моделі з $b = 2$ наведена на рисунку 4.6. Варіації щільності менші, ніж у моделі KG, але є два кластери. Крім того, вони більші, ніж у покращеній моделі KG, і $b = 1$.

Поведінка швидкості руху з моделлю KG наведена на рисунку 2.7 у чотири різні моменти часу. Подібність із густиною, показаною на рисунку 2.1, вказує на те, що швидкість залежить від густини, причому більші швидкості спостерігаються при менших густинах. Найбільші коливання швидкості відбуваються через 5 с. За 15 с рух має майже рівномірну швидкість понад 50 м/с. Є два кластери транспортних засобів від 0 до 50 м. Швидкість у цих скупченнях коливається від 27 м/с до 30,2 м/с. Через 30 с між 0 і 40 м рух має майже рівномірну швидкість 31 м/с, а два кластери розташовані за 40 м. Перший кластер знаходиться між 40 і 70 м і має швидкість, яка змінюється від 26 до 30,2 м/с, тоді як у другому кластері розташованій між 70 і 90 м і має швидкість, яка змінюється від 28 до 30,2 м/с. Порівнюючи рух за 15 і 30 с, швидкість у другому кластері збільшується на 1 м/с, тоді як швидкість першого кластера зменшується на 2 м/с.

На рисунку 2.8 представлено поведінку швидкості в чотири різні моменти часу для вдосконаленої моделі KG з $b = 1$. Це відповідає густині, показаній на рисунку 4.2. У 5 с коливання швидкості найбільші, коливаючись від 29 до 31 м/с. За 15 с ця зміна становить від 29,5 до 31,5 м/с, тоді як за 30 с вона становить менше 1 м/с. Ці варіації менші, ніж у моделі KG. На рисунку 2.9 представлено поведінку швидкості в чотири різні моменти часу для вдосконаленої моделі KG з $b = 2$. Це відповідає густині, показаній на рисунку 2.3. Коливання швидкості є найбільшими при 5 с, з діапазоном від 28 до 31

м/с, при 15 с діапазон становить 29-30,5 м/с, тоді як при 30 с він становить лише 29-30,2 м/с. Таким чином, флуктуації швидкості більші, ніж з $b = 1$, але менші, ніж з моделлю KG.

Поведінка швидкості на дорозі за проміжок часу 30 с з моделлю KG і вдосконаленою моделлю KG з $b = 1$ і 2 наведена на рисунках 2.10, 2.11 і 2.12 відповідно. Ці цифри також ілюструють, що коливання швидкості залежать від щільності, але коливання швидкості зменшуються з часом у всіх випадках. Однак швидкість є більш коливальною в моделі KG, ніж у вдосконаленій моделі KG, особливо з $b = 1$.

Поведінка транспортного потоку з моделлю KG представлена на рисунку 2.13 у чотири різні моменти часу. Зміна потоку слідує за змінами щільності та швидкості, оскільки є добутком цих двох параметрів. Через 5 с потік є більш коливальним, тоді як через 15 с потік перетворюється на два кластери між 0 і 50 м. Потік в першому кластері коливається від 6 авт/с до 3,5 авт/с, а в другому кластері – від 6 авт/с до 2,8 авт/с. Потік понад 50 м вирівнюється до рівномірного рівня 2,8 транспортних засобів/с. За 30 с два кластери перемістилися на відстань понад 40 м. Потік у першому кластері зараз коливається від 2,8 до 7 авт/сек, а в другому – від 3 до 5,2 авт/сек. Мінімальний потік між кластерами становить 3 авт/сек на 65 м. У перші 40 м потік має приблизно рівномірний рівень 2,8 авт/сек.

На рисунку 2.14 представлено поведінку транспортного потоку в чотири різні моменти часу з удосконаленою моделлю KG і $b = 1$. Через 5 с потік змінюється від 2,5 до 4,5 транспортних засобів/с. Максимальна і мінімальна витрати припадають на 50 м і 40 м відповідно. За 15 с потік змінюється від 3,2 до 4,2 авт/сек, що менше, ніж за 5 с. Максимальна і мінімальна витрати зараз припадають на 70 м і близько 60 м відповідно. Через 30 с потік становить лише 3,5-4 авт/сек, а максимальна потік досягається на 40 м. На рисунку 2.15 представлено відповідну поведінку транспортного потоку із запропонованою моделлю та $b = 2$. Поведінка є більш коливальною за 5 с, і потік змінюється від 2,5 до 6 транспортних засобів/с, що більше, ніж за $b = 1$. За 15 с, потік

коливається від 3 до 4,5 авт/сек, майже не змінюється на 30 с. Однак місця максимального і мінімального транспортних потоків різні.

Потік транспорту за проміжок часу 30 с з моделлю KG і вдосконаленою моделлю KG з $b = 1$ і 2 наведено на рисунках 2.16, 2.17 і 2.18 відповідно. Варіації потоку зменшуються з часом у всіх випадках. Ці цифри демонструють, що потік є більш коливальним у моделі KG, тоді як варіації найменші (потік більш рівномірний) у покращеній моделі KG та $b = 1$. При $b = 2$ існують невеликі коливання в потоці, які менші, ніж у моделі KG.

Результати показують, що параметр регулювання потоку b у запропонованій моделі можна використовувати для коригування коливань трафіку та поведінки кластера. Для менших значень b трафік стає більш рівномірним. Таким чином, за допомогою цього параметра можна усунути нереалістичні коливання, а поведінку кластера можна належним чином охарактеризувати.

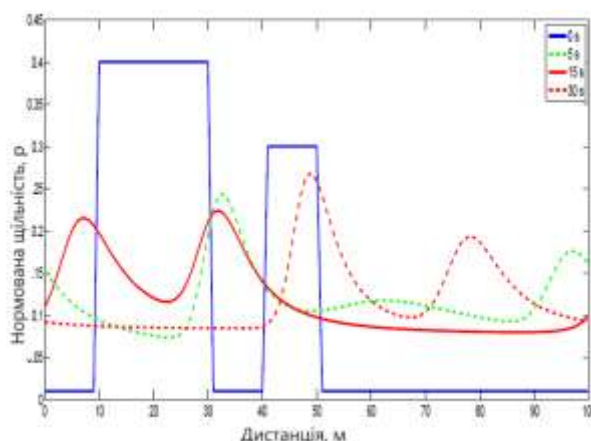
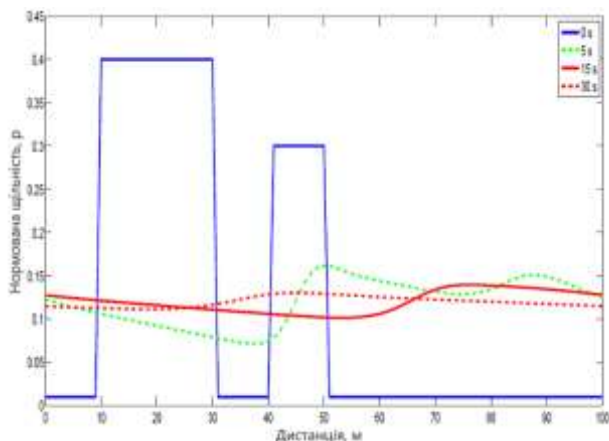
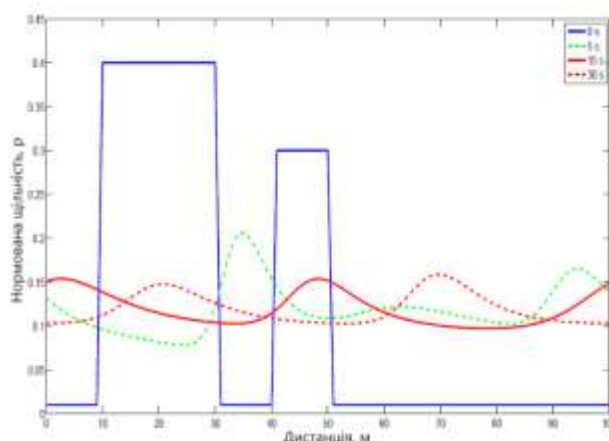


Рисунок 2.3 – Поведінка щільності моделі KG з $\tau = 1$ с



а)



б)

Рисунок 2.4 – а) Покращена поведінка щільності моделі КГ з агресивними водіями, що мають $b = 1$, б) Покращена поведінка щільності моделі КГ з повільними водіями, що мають $b = 2$.

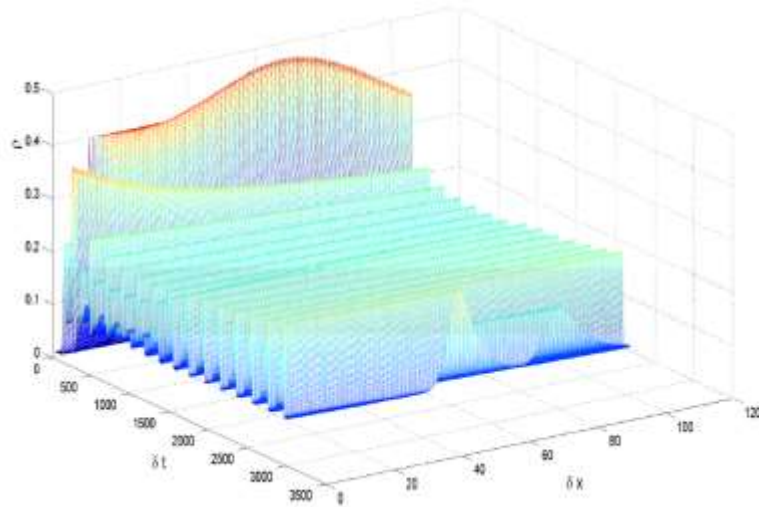
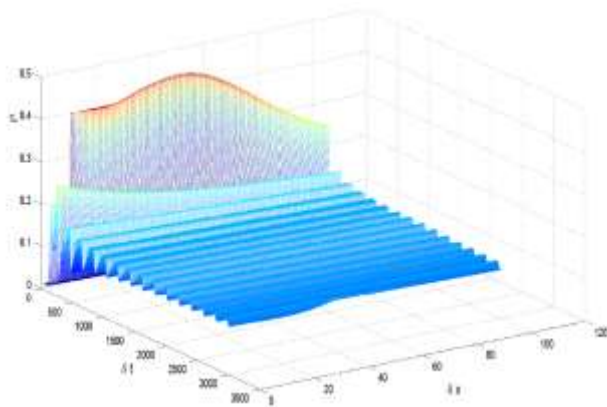
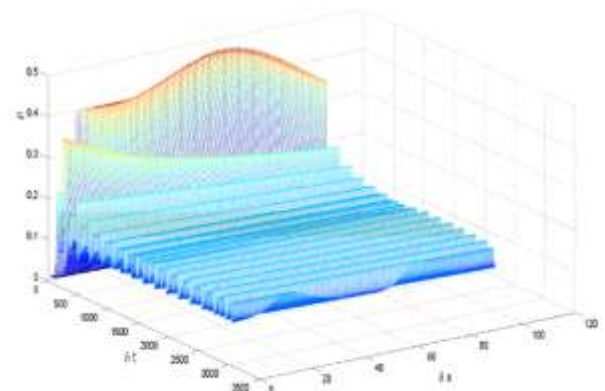


Рисунок 2.5 – Поведінка щільності моделі КГ з $\tau = 1$ с.



а)



б)

Рисунок 2.6 – а) Покращена поведінка щільності моделі КГ з агресивними водіями, що мають $b = 1$ та б) Покращена поведінка щільності моделі КГ з повільними водіями, що мають $b = 2$

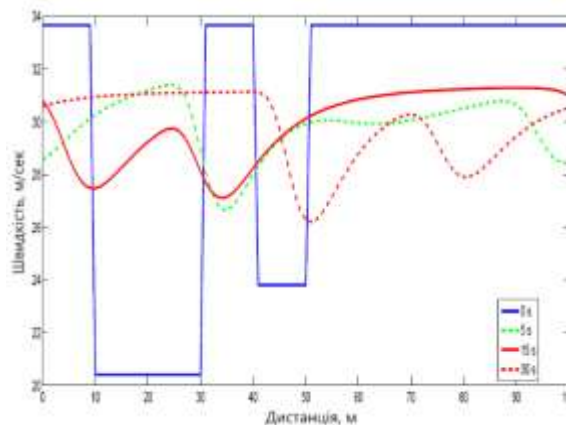


Рисунок 2.7 – Поведінка швидкості моделі КГ з $\tau = 1$ с

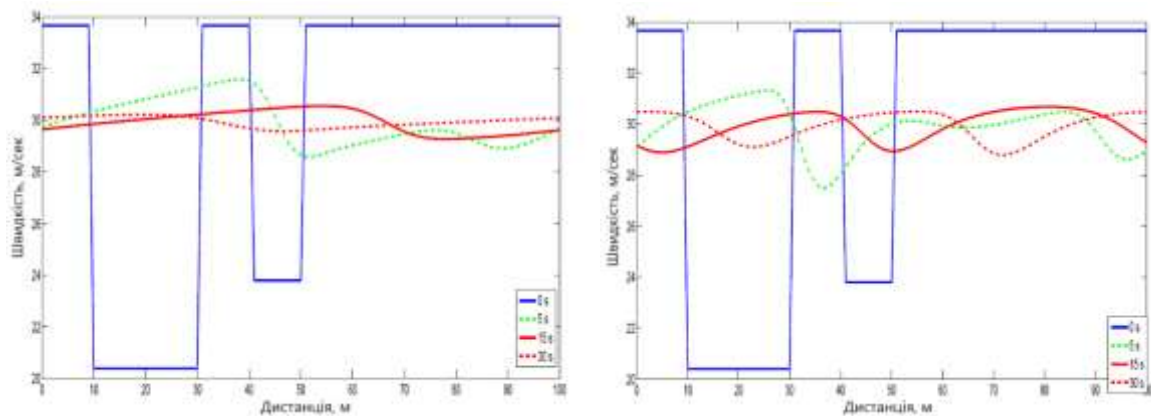


Рисунок 2.8 – а) Покращена модель швидкості КГ з агресивними водіями з $b = 1$ та б) Покращена модель швидкості КГ з повільними водіями, які мають $b = 2$

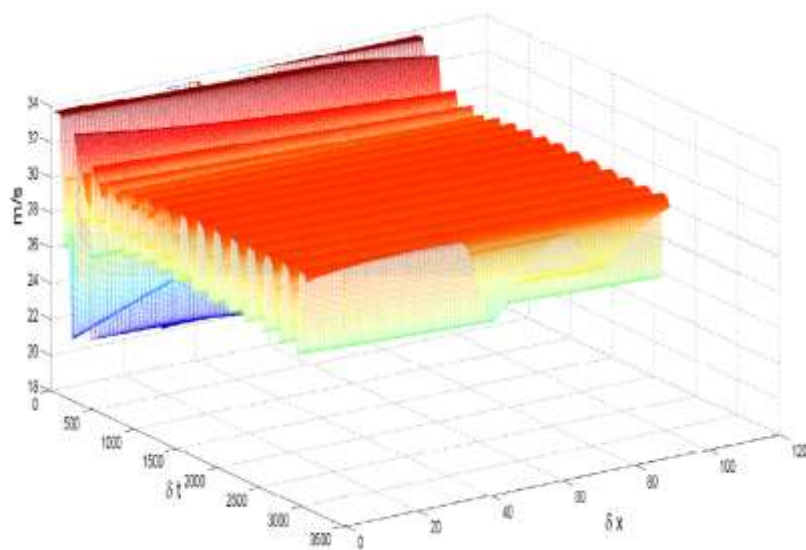


Рисунок 2.9 – Поведінка швидкості моделі КГ з $\tau = 1$ с

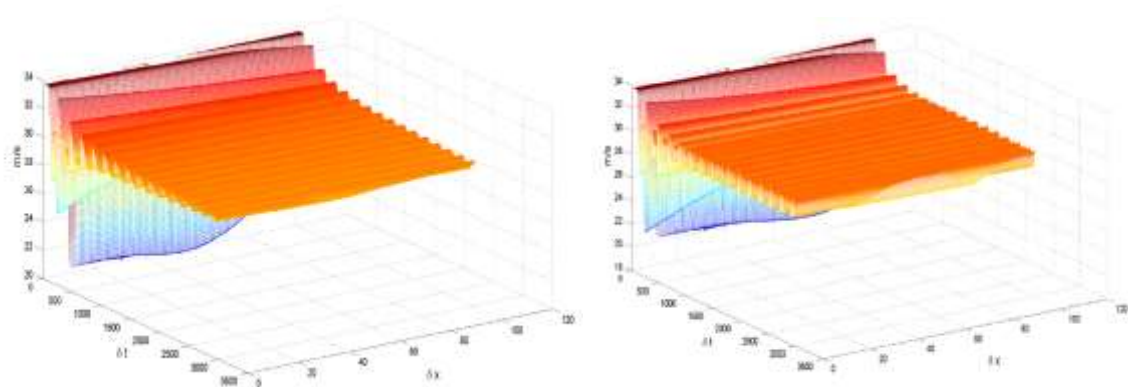


Рисунок 2.10 – а) Покращена модель швидкості КГ з агресивними водіями з $b = 1$ та б) Покращена модель швидкості КГ з повільними водіями, що мають $b = 2$

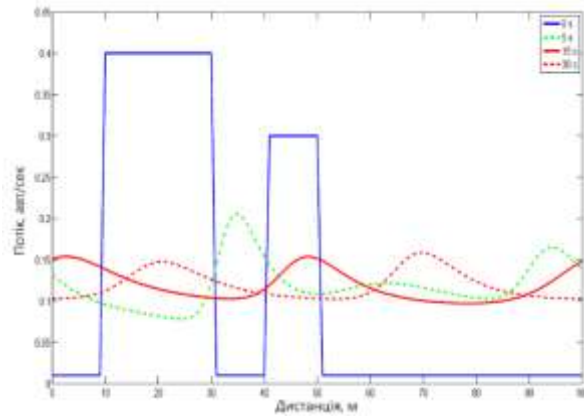


Рисунок 2.11 – Потік моделі KG з $\tau = 1$ с

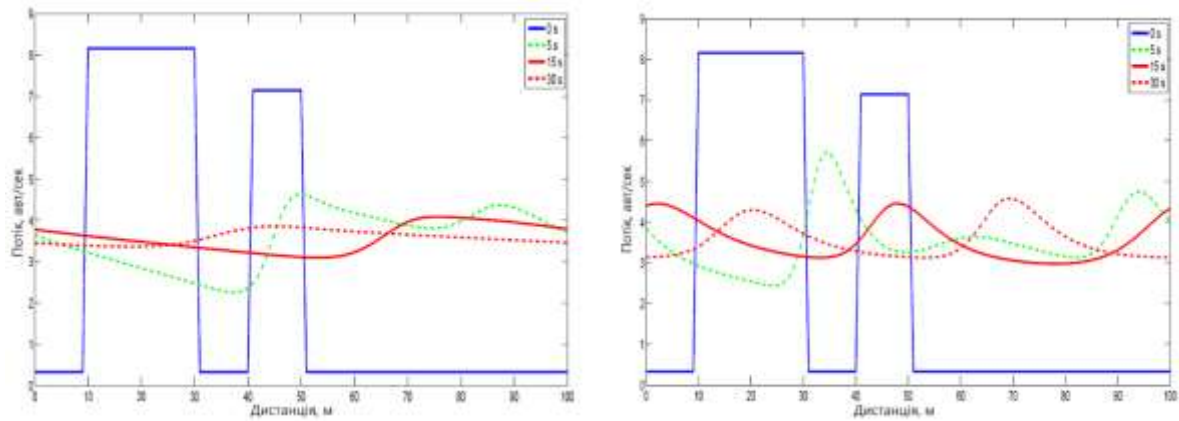


Рисунок 2.12 – а) Покращена модель потоку KG з агресивними водіями, що мають $b = 1$ та б) Покращена модель потоку KG з повільними водіями, що мають $b = 2$

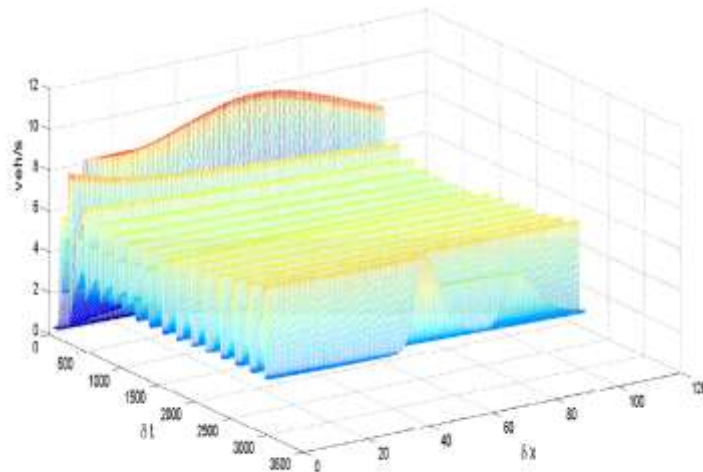


Рисунок 2.13 – Потік моделі KG з $\tau = 1$ с

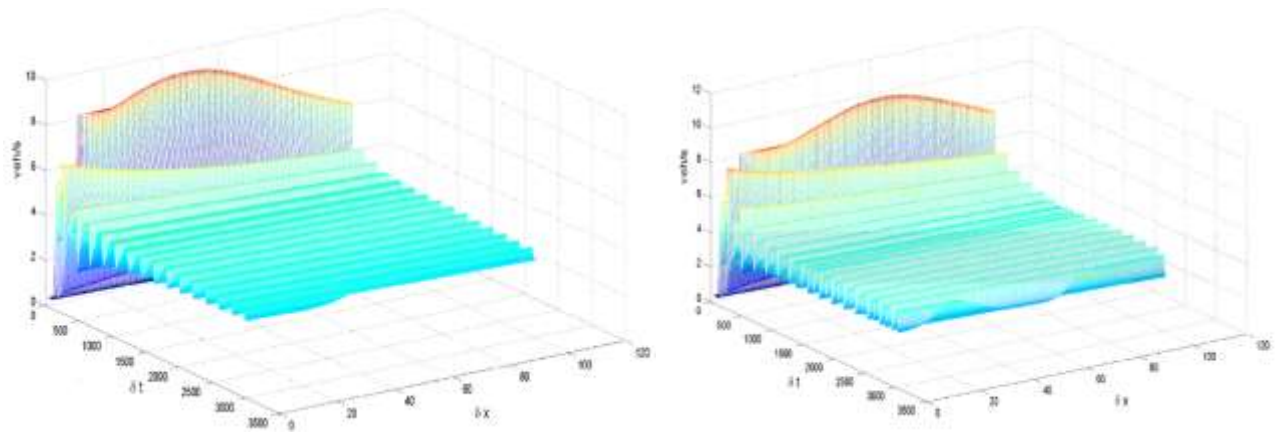


Рисунок 2.14 – а) Покращена модель потоку КГ з агресивними водіями з $b = 1$ та б) Покращена модель швидкості КГ з повільними водіями, що мають $b = 2$

Висновки до розділу

Запропоновано вдосконалена модель КГ для характеристики фізіологічної та психологічної реакції водіїв на зміни в транспортному потоці. Для повільної реакції трафік стає кластерним, тоді як для швидкої реакції потік трафіку є більш рівномірним. Параметр регулювання було введено для подальшого вдосконалення реакції водія на умови руху. Це дозволяє отримати більш реалістичну характеристику дорожнього руху, ніж інші моделі в літературі. Використання цієї покращеної моделі КГ призведе до кращих результатів, які можна використовувати для зменшення споживання палива та викидів шкідливих речовин.

3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Модель транспортного потоку на основі реакції водія

Запропоновано нову модель макроскопічного потоку для точного прогнозування поведінки транспорту. Ця модель включає характеристику щільності руху та швидкості під час вирівнювання з умовами руху. Це вирівнювання має базуватися на фізіологічній і психологічній реакції водіїв. Крім того, за великої щільності трафік рухається з меншими швидкостями, тоді як трафік рухається швидше за низької інтенсивності. Середня відстань між транспортними засобами пропорційна інтенсивності руху, тому буде значна взаємодія між транспортними засобами при великій щільності, що вказує на затори. Водій зазвичай швидко реагує під час заторів, оскільки умови більш передбачувані, а дистанція між транспортними засобами невелика. Навпаки, трафік з низькою щільністю, як правило, є вільним, і тому відгук невеликий. Однак реакція водія може відрізнятися від типової поведінки та бути повільною або агресивною.

У цьому розділі пропонується нова макроскопічна модель транспортного потоку на основі аналогій, розроблених із закону ідеального газу. Цей закон визначає, що щільність газу змінюється з температурою при заданому тиску. Для руху щільність змінюється зі швидкістю. Коли є затори, щільність руху висока, а швидкості невеликі, тоді як під час вільного потоку щільність низька, а швидкості можуть бути високими. Аналогічно константі питомого газу, константа руху вводиться для характеристики реакції водія. Ці умови включають напрямок руху, безпечний час і швидкість. Пробіг – це відстань між центрами сусідніх транспортних засобів і є функцією щільності руху. Взаємодія між транспортними засобами велика, коли прохід малий (і щільність висока). Мінімальний час, необхідний для вирівнювання руху, щоб уникнути аварій, відомий як безпечний час і пов'язаний зі швидкістю. Модель транспортного потоку, запропонована в цій статті, має термін очікування,

який базується на цій постійній трафіку. І навпаки, модель PW має термін очікування, заснований на постійній реакції водія на будь-які умови руху.

Реакція водія включає як фізіологічну, так і психологічну поведінку. Фізіологічна поведінка включає час, витрачений на сприйняття та обробку дорожніх ситуацій і в результаті дій. Психологічна поведінка - це реакція на ситуацію, заснована на усвідомленні та ставленні. Трафік можна охарактеризувати більш реалістично, якщо модель включає обидва типи поведінки. Тому в цьому розділі розглядаються сприйняття, усвідомлення, реакція та ставлення водія.

Ефективність моделі дорожнього руху досліджується на кільцевій дорозі з переходом через неактивне вузьке місце. Неактивне вузьке місце – це затори, що виникають через більшу щільність попереду. Показано, що модель PW може дати нереалістичні результати в цій ситуації, оскільки вона не може адекватно охарактеризувати поведінку водія. І навпаки, показано, що запропонована модель забезпечує реалістичні результати.

3.2. Запропонована модель

Розглянуто аналогії між газом і поведінкою транспорту при розробці нової моделі руху. Закон ідеального газу визначається формулою

$$pV = nRT, \quad (3.1)$$

де p — тиск, V — об'єм, n — кількість молей газу, R — ідеальна газова стала, а T — температура. Кількість родимок становить

$$n = \frac{m}{z}, \quad (3.2)$$

де m — маса, а z — молярна маса. Підстановка (3.2) у (3.1) дає

$$p = \frac{m}{V} \frac{R}{z} T. \quad (3.3)$$

Щільність дорівнює $\rho = \frac{m}{V}$, а питома газова стала дорівнює $R_s = \frac{R}{z}$, так що

$$p = \rho R_s T, \quad (3.4)$$

який показує, що тиск пропорційний густині.

Напругу руху можна розглядати як бажання досягти рівноважної швидкості. У зв'язку з високою щільністю транспортний тиск великий у заторах. Цей ефект подібний до поведінки газу, визначеного (3.4). Крім того, середня швидкість руху, v , аналогічна температурі газу, оскільки збільшення швидкості призводить до більшого тиску.

Питома газова стала пов'язує тиск, щільність і температуру. У цьому документі вводиться константа руху, позначена L_d , яка пов'язує тиск, щільність і швидкість руху на основі реакції водія, а також є функцією його фізіологічної та психологічної поведінки. Фізіологічна реакція водія включає сприйняття та реакцію водія на умови дорожнього руху попереду, тоді як психологічна реакція включає усвідомлення та ставлення водія. Таким чином, константа дорожнього руху включає сприйняття, ставлення, усвідомлення та реакцію водія, і аналогічно (3.4) маємо

$$p = \rho L_d v, \quad (3.5)$$

Час, потрібний водієві для сприйняття та обробки умов дорожнього руху, разом називається часом сприйняття та є функцією щільності, тому його позначають $\tau(\rho)$. У скупченому русі час сприйняття великий, а вирівнювання потоку транспортних засобів відбувається повільно. І навпаки, під час сприйняття вільного потоку час невеликий, а вирівнювання автомобіля відбувається швидко. Відношення водія можна охарактеризувати як співвідношення безпечного часу та часу сприйняття

$$\beta = \frac{\tau_s}{\tau(\rho)}, \quad (3.6)$$

де τ_s – безпечний час. Поведінка водія вважається нормальною, якщо час сприйняття подібний до безпечного часу. Якщо час сприйняття перевищує безпечний час, поведінку можна вважати повільною (наприклад, у нетверезого водія). І навпаки, якщо час сприйняття набагато менше безпечного часу, поведінку водія можна вважати агресивною. Таким чином, для звичайного водія

$$\beta \approx 1,$$

для повільного водія

$$\beta \ll 1,$$

і для агресивного водія

$$\beta \gg 1.$$

Безпечний час τ_s обернено пропорційний просторовій швидкості зміни швидкості v_x (прискорення), тому його можна виразити як

$$\tau_s = \frac{1}{v_x}, \quad (3.7)$$

де нижній індекс x означає похідну по відстані. Таким чином, чим менше прискорення або уповільнення, тим більше безпечний час.

Час сприйняття $\tau(\rho)$ малий під час вільного потоку, оскільки транспортні засоби швидко вирівнюються, і великий під час заторів. Таким чином, час сприйняття через коливання щільності можна охарактеризувати як

$$\tau(\rho) = \frac{1}{v(\rho)_\rho} \quad (3.8)$$

де $v(\rho)$ позначає рівноважний розподіл швидкостей, а індекс ρ позначає похідну по густині. Підстановка (3.7) і (3.8) у (3.6) дає

$$\beta = \frac{v(\rho)_\rho}{v_x}. \quad (3.9)$$

У літературі реакцію водія характеризують як константу [1], а також як лінійну [55] або експоненціальну функцію щільності. Використання постійних результатів у простій моделі може не дати реалістичних результатів. При лінійній залежності відгук надто подібний для високої та низької щільності. І навпаки, при експоненціальному відношенні значне прискорення та уповільнення може відбуватися при високій густині, а дуже низьке прискорення та уповільнення при низькій густині, що може призвести до нереалістичної поведінки. Таким чином, у цьому розділі характеризується реакція водія

$$\rho^2. \quad (3.10)$$

Цей квадратичний закон забезпечує плавну зміну транспортного потоку з варіаціями щільності, що є бажаним.

Поінформованість водія зростає з більшою взаємодією між транспортними засобами, тому її можна охарактеризувати швидкістю руху S . Під час заторів швидкість руху невелика, що збільшує прискорення та уповільнення, а отже, призводить до більш непостійного транспортного потоку. Зі збільшенням інтенсивності руху підвищується обізнаність водія, оскільки слід уважніше спостерігати за оточуючими транспортними засобами. Навпаки, вільний потік має низьку щільність, тому просування є великим, а обізнаність, як правило, низькою. Тоді швидкість руху S можна виразити як

$$S = \frac{1}{\rho}. \quad (3.11)$$

Поєднуючи (3.9), (3.10) і (3.11), константа руху, яка характеризує реакцію водія, визначається як

$$L_d = \frac{v(\rho)\rho^2}{v_x\rho}. \quad (3.12)$$

Для рівноважного розподілу швидкостей $v(\rho)$ запропоновано кілька моделей [32]. Модель Гріншилдса зазвичай використовується [13] і визначається як

$$v(\rho) = v_m \left(1 - \frac{\rho}{\rho_m}\right), \quad (3.13)$$

де ρ_m і ρ – максимальна і середня інтенсивність руху відповідно, а v_m – максимальна швидкість на дорозі. Тому (3.13) використовується тут для оцінки моделей трафіку.

З (3.5) швидкість зміни тиску по відношенню до густини дорівнює

$$\frac{dp}{d\rho} = L_d v. \quad (3.14)$$

Просторова зміна тиску є функцією тимчасової зміни швидкості [11], так що

$$\frac{dp}{dx} = -\rho \frac{dv}{dt}. \quad (3.15)$$

Далі

$$, \quad (3.16)$$

і замінюючи $v = \frac{dx}{dt}$ дає

$$\frac{dp}{dt} = -v\rho \frac{dv}{dt}. \quad (3.17)$$

Тимчасова зміна тиску також може бути виражена як

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dp}{d\rho} \frac{d\rho}{dt}, \quad (3.18)$$

і заміна (3.14) і (3.17) дає

$$-v\rho \frac{dv}{dt} = L_d v \frac{d\rho}{dt}. \quad (3.19)$$

Швидкість зміни ρ і v з відстанню та часом визначається як

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{dx}{dt} \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{dx}{dt}, \quad (3.20)$$

відповідно, що можна виразити як

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x}. \quad (3.21)$$

Потім заміна $\frac{d\rho}{dt}$ і $\frac{dv}{dt}$ з (3.21) в (3.19) дає

$$-\rho(v_t + vv_x) = L_d(\rho_t + v\rho_x), \quad (3.22)$$

,

де індекси t і x позначають похідні за часом і відстанню відповідно.

Додавання та віднімання $L_d v \rho_x$ до RHS (3.22) дає

$$-\rho(v_t + vv_x) = L_d(\rho_t + v\rho_x), \quad (3.23)$$

і замінюючи

$$(v\rho)_x = v\rho_x + \rho v_x,$$

призводить до

$$-\rho(v_t + vv_x) = L_d(\rho_t + (v\rho)_x - \rho v_x). \quad (3.24)$$

Збереження транспортних засобів на дорозі наведено [2]

$$\rho_t + (\rho v)_x = 0, \quad (3.25)$$

який моделює плавний рух транспорту на довгій ідеалізованій дорозі.

Підставляючи отримуємо

$$-\rho(v_t + vv_x) = L_d(0 - \rho v_x), \text{ який можна} \quad (3.26)$$

спростити до

$$v_t + (v - L_d)v_x = 0. \quad (3.27)$$

Це однорідний потік трафіку, оскільки в потоці немає переходів. Переходи в потоці викликані пристроями регулювання руху або виходом і входом в потік. Відповідно до кінематичного рівняння руху прискорення $a(\rho)$ визначається як

$$a(\rho) = \frac{v(\rho) - v}{\tau}, \quad (3.28)$$

де τ – час релаксації. Розглядаючи транспортні переходи, (3.27) можна виразити як

$$v_t + (v - L_d)v_x = \frac{v(\rho) - v}{\tau}. \quad (3.29)$$

Помноживши на ρ , транспортний потік отримаємо як

$$\rho v_t + \rho(v - L_d)v_x = \rho \frac{v(\rho) - v}{\tau}. \quad (3.30)$$

Тоді запропонована модель транспортного потоку з (3.25) і (3.30) є

$$\begin{aligned} \rho_t + (\rho v)_x &= 0 \\ \rho v_t + \rho v v_x - \rho L_d v_x &= \rho \frac{v(\rho) - v}{\tau}, \end{aligned} \quad (3.31)$$

де

$$-\rho L_d v_x,$$

є терміном очікування. Цей термін включає константу руху L_d , яка характеризує реакцію водія.

Таблиця 3.1 – Порівняння моделі трафіку

термін	Модель PW	Пропонована модель
термін очікування	$\rho C_0^2 \rho_x$	$-\rho L_d v_x$
термін релаксації	$\rho \frac{v(\rho) - v}{\tau}$	$\rho \frac{v(\rho) - v}{\tau}$

Модель PW задана формулою

$$\begin{aligned} \rho_t + (\rho v)_x &= 0 \\ \rho v_t + \rho v v_x + \rho C_0^2 \rho_x &= \rho \frac{v(\rho) - v}{\tau}, \end{aligned} \quad (3.32)$$

де C_0 – константа очікування, яка характеризує реакцію водія. Відповідно до цієї моделі реакція водія не залежить від умов руху і є константою.

3.3. Результати дослідження

Порівняння продуктивності із запропонованою та PW моделями здійснюється за параметрами, наведеними в таблиці 3.2. Початковий розподіл щільності становить

$$\rho_0 = \begin{cases} 0.01, & \text{for } x < 10, \\ 0.3, & \text{for } 10 \leq x \leq 30, \\ 0.1, & \text{for } 30 < x \leq 40, \\ 0.3, & \text{for } 40 < x \leq 50, \\ 0.2, & \text{for } x > 50, \end{cases} \quad (3.68)$$

що вважається найгіршим випадком потоку транспорту, оскільки є два кластери зі значними змінами щільності. Цей ρ_0 використовується для демонстрації поведінки транспортного потоку на кільцевій дорозі довжиною 100 м.

Константи швидкості, які використовуються в літературі для моделі PW, коливаються від 2,4 м/с до 57 м/с для оцінки продуктивності для різних щільностей руху. Таким чином, константи швидкості, які тут розглядаються, $C_0 = 5,83$ м/с, як у [1], і $C_0 = 25$ м/с. Метою трафіку є рівноважний розподіл швидкості Гріншилда $v(\rho)$, як зазначено в (3.13) з $v_m = 34$ м/с. Час релаксації $\tau = 0,5$ с. Дорога має максимальну нормовану щільність $\rho_m = 1$. Крок дороги вибирається як $\delta x = 1$ м, тому загальна кількість сходинок дороги становить 100. Крок за часом, обраний для запропонованої моделі, становить $\delta t = 0,01$ с для задоволення умови CFL [46]. Кількість кроків у часі для запропонованої моделі становить 3000. Для моделі PW крок у часі становить $\delta t = 0,001$ с при $C_0 = 25$ м/с і 0,01 при $C_0 = 5,83$ м/с, щоб задовольнити умову CFL [16].

Відповідна кількість часових кроків становить 30000 для $C_0 = 25$ м/с і 3000 для $C_0 = 5,83$ м/с. Загальний час моделювання 30 с.

На рисунку 3.1 показано поведінку щільності трафіку із запропонованою моделлю. Щільність руху більш коливальна на 1,5 с, ніж на 15 с і 30 с. Щільність руху поділяється на кластери через 15 і 30 с. Від 40 до 80 м щільність руху за $t = 30$ с приблизно рівномірна при значенні 0,17. Також є два кластери транспортних засобів. Перший лежить між 8 і 40 м і має щільність, яка зростає від 0,21 на 8 м до 0,28 на 20 м, а потім зменшується до 0,18 на 40 м. Другий кластер лежить між 80 і 100 м. Щільність цього скупчення коливається від 0,17 на 80 м до 0,21 на 100 м.

На рисунку 3.2 представлено поведінку густини моделі PW з $C_0 = 25$ м/с.

Модель PW створює коливальну поведінку руху. Далі рух поділяється на десять невеликих кластерів прольотом приблизно 9 м, які знаходяться дуже близько. Середня щільність у скупченнях коливається від 0,08 до 0,3. Щільність між гронами дуже мала.

Поведінка щільності моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с наведена на рисунку 3.3. Це показує, що різкі зміни щільності руху згладжуються на 1,5 с і 15 с. Однак через 30 с трафік перевищує максимальну щільність $\rho_m = 1$ у раз 2,5, що неможливо.

Відповідна поведінка швидкості запропонованої моделі показана на рисунку 3.4. Швидкість руху більш коливальна за 1,5 с, ніж за 15 і 30 с. Від 40 до 80 м при $t = 30$ с швидкість приблизно рівномірна і становить 28 м/с. Швидкість в межах першого кластера коливається від 25 до 27 м/с, а в межах другого кластера – від 27 до 28 м/с. Це реалістична поведінка руху в межах мінімальної та максимальної швидкостей. Як і очікувалося, там, де щільність низька, швидкість руху висока, і навпаки.

Відповідна модель швидкості PW з $C_0 = 25$ м/с наведена на рисунку 3.5. Це показує, що швидкість руху коливається з меншою частотою за 1,5 с, ніж за 15 с і 30 с. За 30 с швидкість коливається від 22,5 до 45,5 м/с, хоча максимальна швидкість становить 34 м/с. Існують також нереалістичні різкі зміни швидкості. В середньому всередині кластерів швидкість змінюється на

20 м/с на відстані 8 м, що неможливо. Поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с наведена на рисунку 3.6. Це показує, що на 30 с швидкість падає нижче нуля до -14 м/с на 68 м, що неможливо.

Запропонована модель поведінки інтенсивності руху та швидкості на відстані 100 м протягом 30 с наведена на рисунках 3.7 та 3.8 відповідно. Це показує, що щільність і швидкість трафіку за допомогою запропонованої моделі добре поводяться і мають лише невеликі варіації. Трафік рухається швидше або повільніше в місцях, де щільність трафіку низька або висока відповідно, як і очікувалося. Швидкість знаходиться в межах від 0 до 34 м/с, а щільність – від 0 до 1.

Швидкість і щільність моделі PW з $C_0 = 25$ м/с показані на рисунках 3.9 і 3.10 на відстані 100 м протягом 30 с. 3.9 видно, що швидкість коливається від 0 м/с до 160 м/с за 0,3 с, що неможливо. Крім того, на рисунку 3.10 показано, що трафік складається з 10 кластерів шириною 9 м на відстані 100 м, що нереально. Поведінка швидкості та щільності моделі PW із $C_0 = 5,83$ м/с на відстані 100 м протягом 30 с наведено на рисунках 3.11 та 3.12, у таблиці 3.2: Параметри моделювання відповідно.

Таблиця 3.2 – Параметри моделювання

Ім'я	Параметр
максимальна швидкість	$v_m = 34$ м/с
рівноважний розподіл швидкостей	$v(\rho)$
час релаксації	$\tau = 0,5$ с
коефіцієнт випередження	$C_0 = 25$ м/с і $5,83$ м/с
довжина дороги	$x = 100$ м
часовий крок для запропонованої моделі	$\delta t = 0,01$ с
кількість часових кроків для запропонованої моделі	$M = 3000$
крок за часом для моделі PW з $C_0 = 25$ м/с	$\delta t = 0,001$ с
кількість часових кроків для $C_0 = 25$ м/с	$H = 30000$
крок за часом для моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с	$\delta t = 0,01$ с
загальний часовий крок для $C_0 = 5,83$ м/с	$H = 3000$
дорожній крок	$\delta x = 1$ м
кількість кроків дороги	$H = 100$
час моделювання	$tM = 30$ с
Максимальна нормована щільність	$\rho_m = 1$

Погіршення поведінки швидкості та щільності руху розвивається з еволюцією часу на відстані.

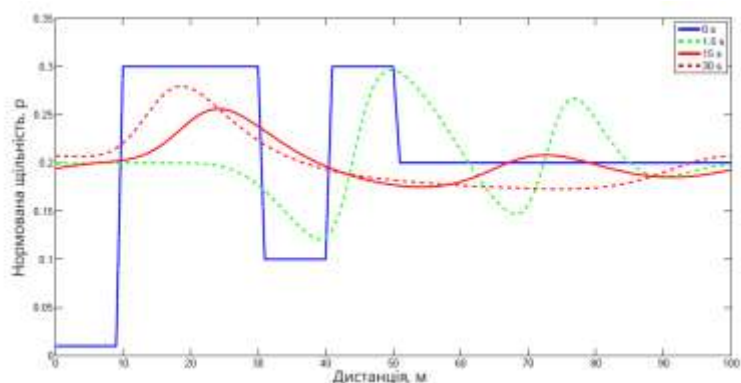
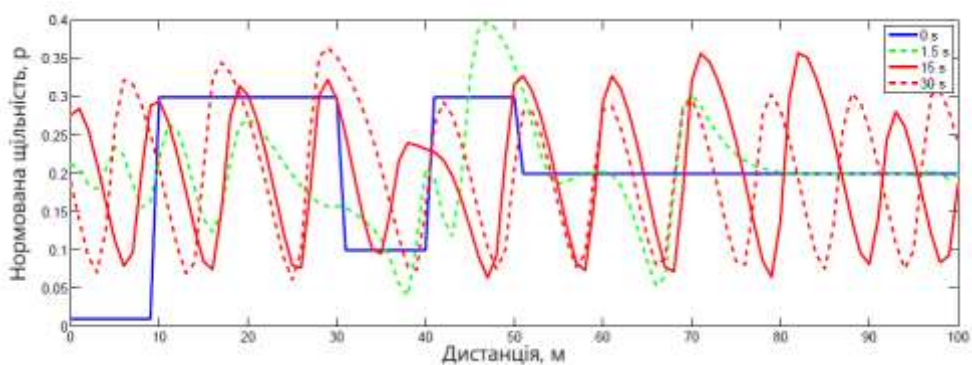
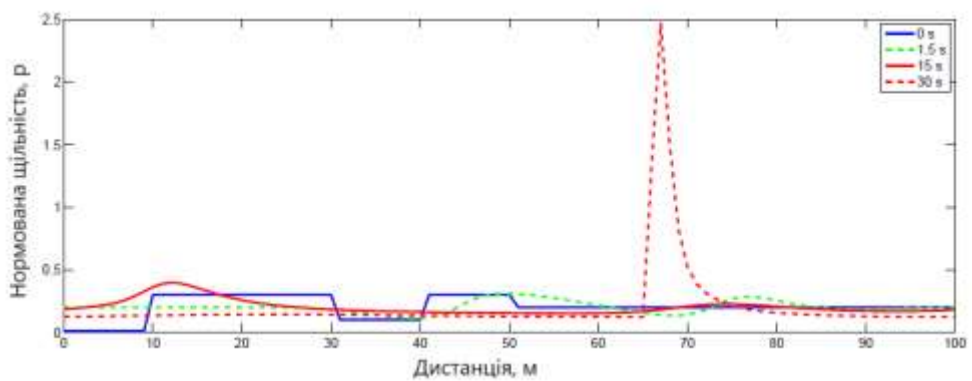


Рисунок 3.1 – Запропонована модель поведінки щільності за 0 с, 1,5 с, 15 с і 30 с.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Поведінка щільності моделі PW з $C_0 = 25$ м/с та б) поведінка щільності моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с

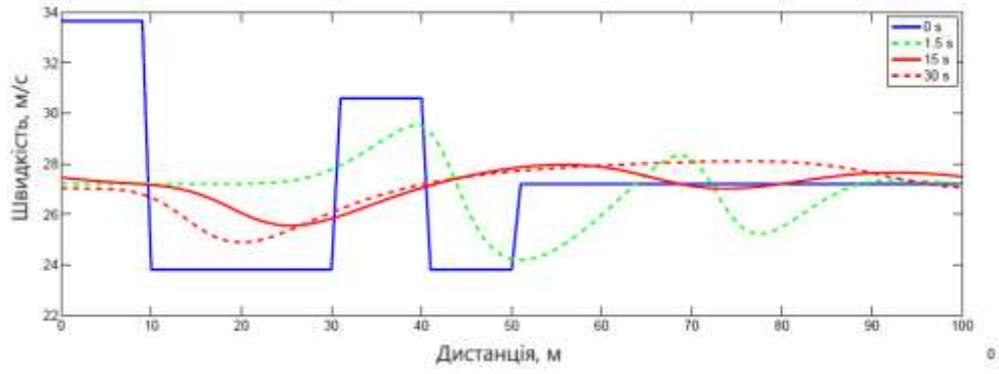
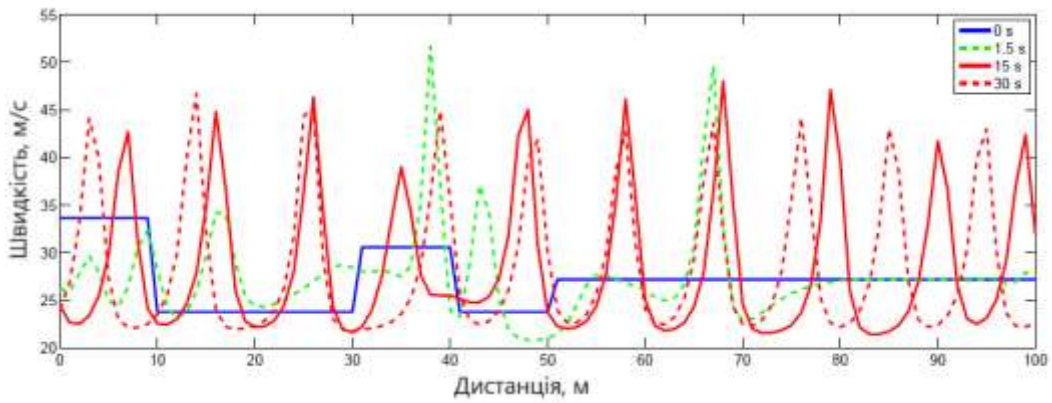
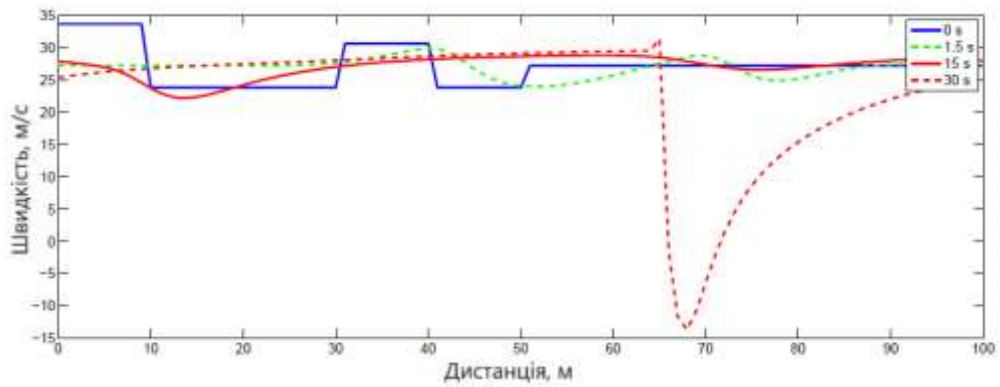


Рисунок 3.3 – Запропонована модель поведінки швидкості за 0 с, 1,5 с, 15 с і 30 с.



а)



б)

Рисунок 3.4 – а) поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 25$ м/с та б) поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с

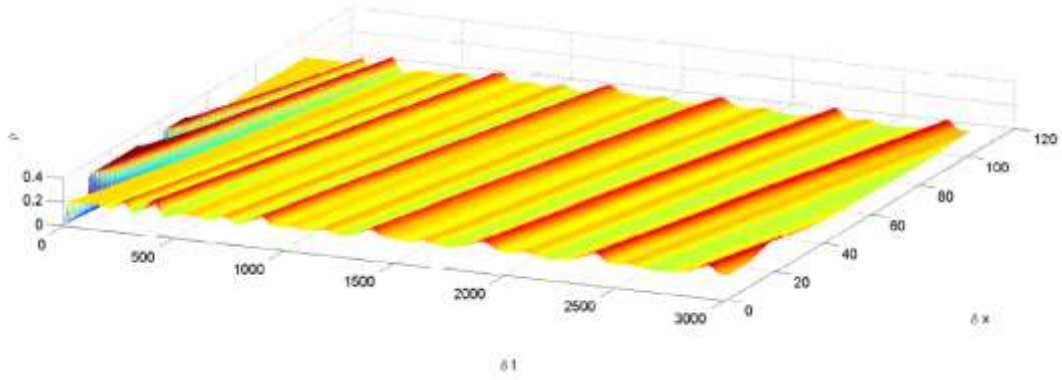


Рисунок 3.5 – Пропонована модель поведінки щільності від 0 до 30 с.

Модель забезпечує кращі результати, що видно з оцінки ефективності.

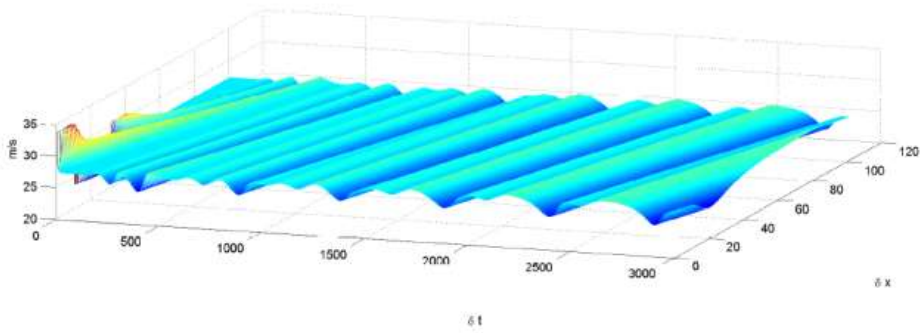


Рисунок 3.6 – Запропонована модель поведінки швидкості від 0 до 30 с

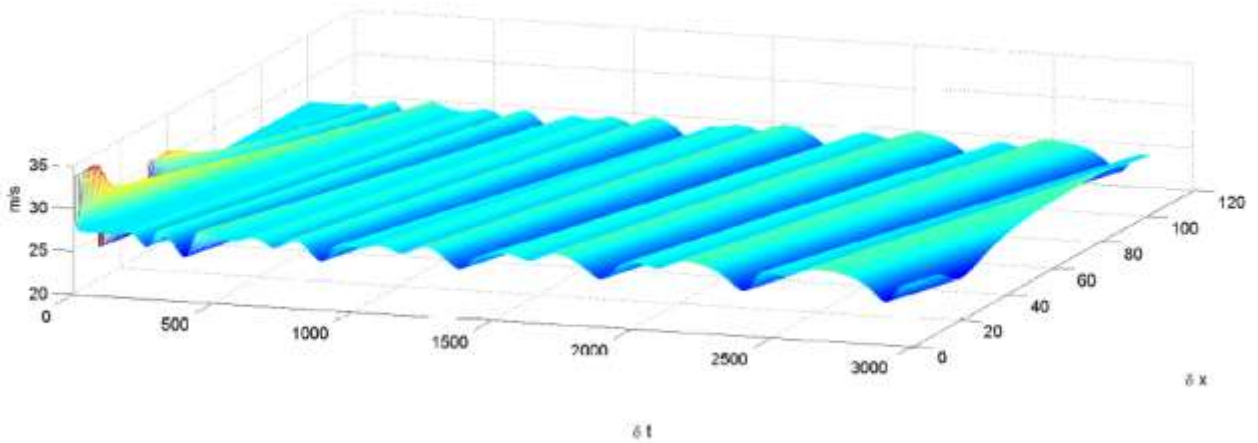


Рисунок 3.7 – Поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 25$ м/с

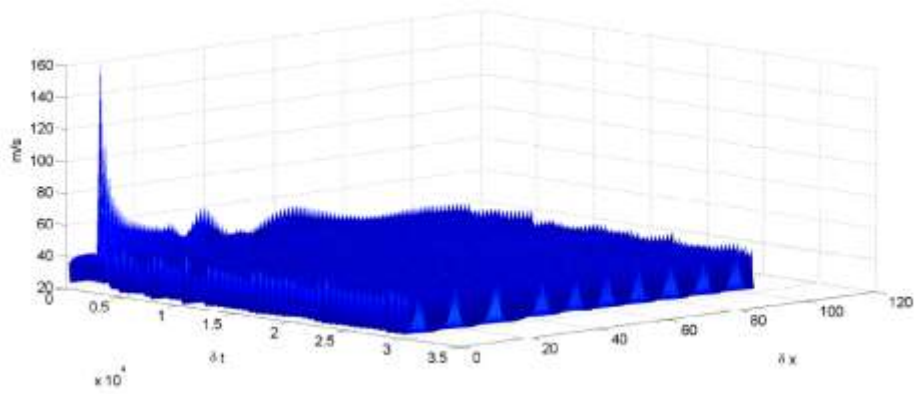


Рисунок 3.8 – Поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 25$ м/с

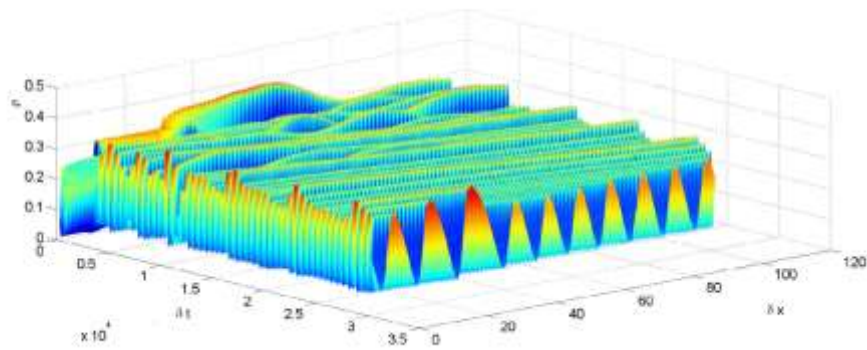


Рисунок 3.9 – Поведінка щільності моделі PW з $C_0 = 25$ м/с

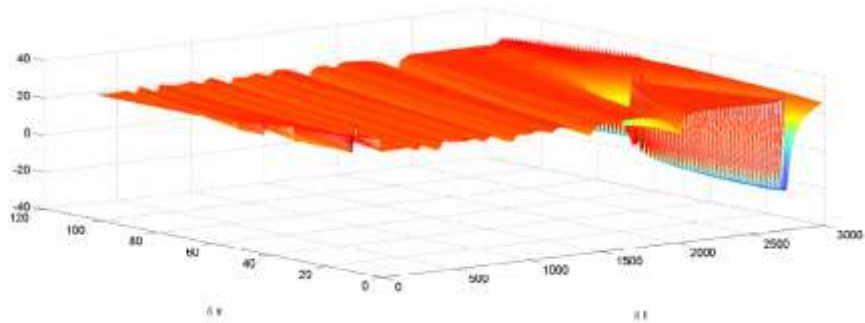


Рисунок 3.10 – Поведінка швидкості моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с

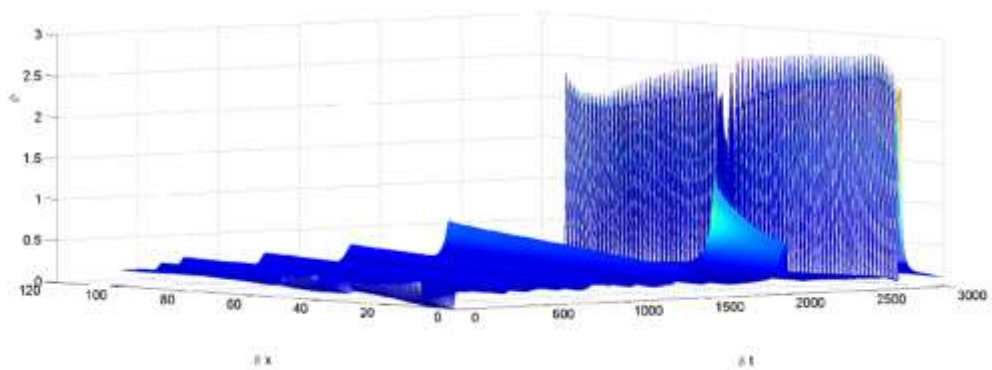


Рисунок 3.11 – Поведінка щільності моделі PW з $C_0 = 5,83$ м/с

Результати показують, що запропонована модель забезпечує реалістичну поведінку, яка є плавною, на відміну від моделі PW. Модель PW створює коливальну поведінку руху з $C_0 = 25$ м/с, тоді як з $C_0 = 5,83$ м/с модель PW створює нереалістичну поведінку.

Висновки до розділу

Було запропоновано модель, засновану на поведінці газу. Розроблено аналогії щільності руху, швидкості та константи руху. Константа дорожнього руху базується на фізіологічній і психологічній реакції водія. Пропонована модель порівнюється з моделлю PW на кільцевій дорозі з вузьким місцем руху. Переходи щільності у вузькому місці реалістично вловлюються запропонованою моделлю. Як і очікувалося, з плином часу переходи згладилися. Щільність і швидкість залишалися в межах максимуму і мінімуму. Модель PW адаптує нереалістичну коливальну поведінку, хоча значення C_0 було змінено з високого на низьке. Щільність руху переповнюється, і в результаті швидкість стає негативною.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Органи управління охороною праці

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно - технічних, санітарно - гігієнічних і лікувально профілактичних заходів та засобів, спрямованих на забезпечення здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Державне управління охороною праці в Україні здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- Державна Служба гірничого нагляду та промислової безпеки України;
- Міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади; - Місцева державна адміністрація.

До повноважень Кабінету Міністрів України відносять:

- забезпечення реалізації державної політики в галузі охорони праці;
- затвердження національної програми щодо поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища;
- визначення функцій міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці та нагляду за охороною праці;
- визначення порядку створення і використання державного, галузевих і регіональних фондів охорони праці;

До повноважень Державної Служби гірничого нагляду та промислової безпеки України відносять:

- здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій галузі;
- розробляє за участю міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади та профспілок національну програму поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і контролює її виконання;
- опрацьовує і переглядає спільно з органами праці, статистики і охорони здоров'я систему показників обліку умов і безпеки праці;

- бере участь у міжнародному співробітництві з питань охорони праці, вивчає, узагальнює і поширює світовий досвід у цій галузі;
- одержує безкоштовно від міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади, місцевої державної адміністрації та підприємств інформацію, необхідну для виконання покладених на нього завдань;

Рішення Державної Служби гірничого нагляду та промислової безпеки України з питань охорони праці, що належать до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади.

Для координації, вдосконалення і контролю за роботою щодо охорони праці в центральному апараті міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Державний нагляд за додержанням законів та інших нормативно-правових актів про охорону праці здійснюють:

- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці;
- спеціально уповноважений державний орган з питань радіаційної безпеки;
- спеціально уповноважений державний орган з питань пожежної безпеки;
- спеціально уповноважений державний орган з питань гігієни праці.

Вищий нагляд за додержанням і правильним застосуванням законів про охорону праці здійснюється Генеральним прокурором України і підпорядкованим йому прокурорами.

Органи державного нагляду за охороною праці встановлюють порядок опрацювання і затвердження власниками положень, інструкцій та інших актів про охорону праці, що діють на підприємствах, розробляють типові документи з цих питань.

Громадський контроль за додержанням законодавства про охорону праці здійснюють:

- трудові колективи через обраних ними уповноважених;
 - професійні спілки - в особі своїх виборних органів і представників.
- Уповноважені трудових колективів з питань охорони праці мають право безперешкодно перевіряти на підприємстві виконання вимог щодо охорони праці і вносити обов'язкові для розгляду власником пропозиції про усунення виявлених порушень нормативних актів з безпеки і гігієни праці.

Основними законодавчими актами в галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці", Кодекс законів про працю та інші нормативні акти.

Закон України "Про охорону праці" визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Специфічною особливістю українського Закону, що регламентує правову основу охорони праці, є високий рівень прав і гарантій робітникам.

Вперше в історії держави робітникам було надано право відмовитися від роботи у випадку існування на виробництві загрози для їхнього здоров'я і життя. Розширено права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві.

До позитивних моментів Закону України "Про охорону праці" безперечно належить закріплення за державою функції управління охороною праці.

В Законі України "Про охорону праці" задекларовані основні принципи державної політики в галузі охорони праці.

- пріоритет життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення безпечних і нешкідливих умов праці;

- обов'язковий соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- використання економічних методів управління охороною праці, проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексне розв'язування завдань охорони праці на основі національних програм з цих питань та з урахуванням інших напрямків економічної та соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони навколишнього середовища;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;
- співробітництво і проведення консультацій між роботодавцями та профспілками при прийнятті рішень з охорони праці;
- міжнародне співробітництво в галузі охорони праці, використання світового досвіду організації роботи щодо покращення умов і підвищення безпеки праці.

Відповідно до ст. 21 Закону України "Про охорону праці" фінансування охорони праці здійснюється власником. Працівник не несе ніяких витрат на заходи щодо охорони праці. На підприємствах, в галузях, на регіональному та державному рівні створюються фонди охорони праці підприємств.

Управління державним фондом охорони праці здійснює Держнагляд охорони праці. Кошти державного фонду охорони праці використовуються на виконання національної програми покращення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також інших найважливіших робіт з охорони праці відповідно до переліку заходів, що можуть здійснюватись за рахунок фондів охорони праці.

Управління галузевими фондами охорони праці здійснюється міністерствами, іншими центральними органами виконавчої влади, що створені за галузевим принципом та здійснюють координацію діяльності підприємств з питань охорони праці. Кошти галузевих фондів використовуються на виконання,

погоджених з Держнаглядохоронпраці, галузевих програм, покращення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також інших найважливіших робіт відповідно до визначеного переліку.

Власник з урахуванням специфіки виробництва опрацьовує та затверджує Положення про службу охорони праці підприємства (установи, організації) керуючись Типовим положенням, розробленим та затвердженим Держнаглядохоронпраці. Відповідно до Типового положення служба охорони праці створюється на підприємствах, у виробничих і науково-виробничих об'єднаннях, корпоративних, колективних та інших організаціях виробничої сфери з числом працюючих 50 і більше чоловік. В інших випадках функції цієї служби можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які пройшли перевірку знань з охорони праці. В установах, організаціях невиробничої сфери та в навчальних закладах власниками також створюються служби охорони праці.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства. За своїм посадовим становищем та умовами оплати праці керівник служби охорони праці прирівнюється до керівників основних виробничо-технічних служб підприємства. Служба охорони праці в залежності від чисельності працюючих може функціонувати як самостійний структурний підрозділ або у вигляді групи спеціалістів чи одного спеціаліста, у тому числі за сумісництвом. Служба охорони праці формується із спеціалістів, які мають вищу освіту та стаж роботи за профілем виробництва не менше 3 років. Спеціалісти з середньою спеціальною освітою приймаються в службу охорони праці у виняткових випадках.

Ліквідація служби охорони праці допускається тільки в разі ліквідації підприємства.

Служба охорони праці вирішує завдання:

- забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;

- професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань оплати праці, пропаганди безпечних методів праці;
- вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;
- професійного добору виконавців для визначення видів робіт.

Служба охорони праці виконує такі функції:

- опрацьовує ефективну цілісну систему управління охороною праці, сприяє удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;
- проводить оперативно-методичне керівництво роботою з охорони праці;
- проводить для працівників вступний інструктаж з питань охорони праці;
- організовує: забезпечення працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами з охорони праці.
- бере участь у розслідуванні нещасних випадків та аварій; формуванні фонду охорони праці підприємства і розподілі його коштів; роботі комісії з питань охорони праці підприємства;
- сприяє впровадженню у виробництво досягнень науки і техніки, у тому числі ергономіки і прогресивних технологій, сучасних засобів колективного та індивідуального захисту працюючих, захисту населення і навколишнього середовища;
- розглядає листи, заяви та скарги працюючих з питань охорони праці;
- надає методичну допомогу керівникам структурних підрозділів підприємства у розробці заходів з питань охорони праці;
- готує проекти наказів та розпоряджень з питань охорони праці, загальних для всього підприємства;
- контролює дотримання чинного законодавства, міжгалузевих, галузевих та інших нормативних актів;
- та інші функції.

Спеціалісти служби охорони праці мають право:

- представляти підприємство в державних та громадських установах при розгляді питань охорони праці;

- безперешкодно в будь-який час відвідувати виробничі об'єкти, структурні підрозділи підприємства, зупиняти роботу виробництв, машин, механізмів та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;

4.2. Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Важливим завданням господарюючих суб'єктів є підвищення рівня організаційної роботи на основі управління охороною праці.

Під управлінням охорони праці розуміють підготовку, прийняття і реалізацію рішень стосовно організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, направлених на забезпечення, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Об'єктом управління є діяльність функціональних служб і структурних підрозділів АТП.

Органом управління охорони праці на АТП є головний інженер у підпорядкуванні якого знаходиться служба охорони праці, яка виконує організаційно-методичну роботу (підготовку управлінських рішень і контроль за їх реалізацією). Управління охороною праці в цехах, автоколонах, на дільницях і в інших структурних підрозділах здійснюють їх керівники. Для ефективної управлінської діяльності вона повинна бути скоординована між всіма службами.

Основними функціями управління охорони праці на АТП є:

- організація і координація робіт в галузі охорони праці - формування органів управління, встановлення обов'язків і порядку взаємодії між особами які приймають участь в прийнятті і реалізації управлінських рішень;
- планування робіт з охорони праці;
- контроль за станом охорони праці і функціонуванням системи управління охорони праці - перевірка стану умов праці робітників,

виявлення відхилень від вимог стандартів безпеки праці, норм і правил по охороні праці;

- облік, аналіз і оцінка показників стану охорони праці;
- стимулювання робіт по охороні праці.

Управління охорони праці повинна вирішувати наступні завдання:

- навчання працюючих безпеки праці;
- забезпечення безпеки виробничого обладнання;
- забезпечення безпеки виробничих процесів;
- забезпечення безпеки споруд і будівель;
- нормалізація санітарно-гігієнічних умов праці;
- забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту;
- забезпечення оптимальних режимів праці і відпочинку працюючих;
- організація лікувально-профілактичного обслуговування працюючих.

Основні вимоги і права адміністративно-технічного персоналу з охорони праці містяться в галузевих Правилах по охороні праці і посадових інструкціях. Згідно Правилам з охорони праці на автомобільному транспорті загальне керівництво роботою по охороні праці на АТП покладається на його керівника.

Діяльність відділу охорони праці регламентується Типовим положенням про охорону праці і техніки безпеки підприємства, установи і організації.

Згідно Типового положення, відділ охорони праці є самостійним структурним підрозділом і підпорядковується безпосередньо керівнику підприємства або головному інженеру. На відділ покладається відповідальність за підготовку і організацію роботи на АТП стосовно створення здорових і безпечних умов праці робітників.

Основними обов'язками відділу є: постійне вдосконалення роботи на АТП стосовно охорони праці і безпеки; впровадження передового досвіду і наукових розробок з охорони праці; контроль за станом охорони праці на виробництві.

У зв'язку з цими завданнями робітники відділу:

- аналізують стан і причини виробничого травматизму і професійних захворювань;

- підготовлюють пропозиції щодо розробки і впровадження більш вдосконалених конструкцій огорожувальних засобів, запобіжних пристроїв і інших засобів захисту від впливу шкідливих виробничих факторів;
- приймають участь про впровадженню стандартів безпеки праці і наукових розробок з охорони праці;
- надає допомогу підрозділам АТП в проведенні замірів стану охорони навколишнього середовища;
- перевіряють виконання вимог стосовно забезпечення здорових і безпечних умов праці;
- проводять інструктаж з техніки безпеки;
- складають звіт з охорони праці;

Контроль за станом охорони праці зверху до низу здійснюється в три етапи:

Перший етап. Кожного дня до початку роботи майстер, механік, керівник дільниці разом з інспектором по охороні праці здійснюють обхід всіх робочих місць. Вони перевіряють їхню чистоту, вправність інструментів і пристроїв, правильність використання робітниками засобів індивідуального захисту. При виявленні несправностей, порушень техніки безпеки приймаються необхідні міри по їх усуненню і здійснюється відповідний запис у книзі майстра або керівника дільниці. Після чого майстер, механік або керівник дільниці проводять п'ятихвилинки по техніки безпеки, на яких інформують робітників про результати обходу, прийнятих мірах і нагадують про безпеку праці.

Другий етап. Кожного тижня начальники майстерні, цеху, автоколони або гаражу з представником комісії охорони праці обходять підпорядковані їм підрозділи. Після чого дають необхідні розпорядження про усунення недоліків, виявлених під час огляду. Всі зауваження стосовно недоліків або порушень правил і вимог з охорони праці здійснюється запис у журналі. Якщо виявленні недоліки не можна усунути власними силами виробничого підрозділу, то про це ставлять до відома головного інженера.

Третій етап. Раз на місяць головний інженер і представник відділу охорони праці та представник медичного закладу перевіряють стан охорони праці на всіх

дільницях АТП. За результатами перевірок складається протокол в якому вказуються всі недоліки і порушення, що виявлені під час перевірки, а також назначаються відповідальні за виконання намічених заходів і встановлюються терміни їх виконання. Результати перевірок обговорюються на нарадах, де керівники підрозділів доповідають про прийняті міри по усуненню виявлених недоліків.

4.3. Пожежна безпека на автотранспортних підприємствах

Пожежна безпека починається на стадії проектування підприємства, будівлі, споруди, планування технологічного процесу, встановлення обладнання, тобто враховується інженерно-технологічними заходами, які представлені в проектах при розробці проектної документації на будівництво, і вимагає суворого виконання протипожежних вимог в процесі експлуатації.

Пожежна безпека підприємства - це такий стан промислового об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у разі її виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів та забезпечується захист матеріальних цінностей.

Система запобігання пожежам - це комплекс організаційних і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення пожежі, на запобігання утворенню горючого і вибухонебезпечного середовища шляхом регламентації вмісту горючих газів, парів та пилу у повітрі, а також виключення можливості виникнення джерел запалювання або вибуху; забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, обладнання, електроустаткування, систем вентиляції, зберігання сировини та інших матеріалів.

У разі виявлення пожежі (ознак горіння) кожний громадянин зобов'язаний:

- негайно повідомити про це телефоном пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

- вжити (по можливості) заходів до евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового по об'єкту; • у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

По прибутті на пожежу пожежних підрозділів повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх на територію об'єкта, за винятком випадків, коли відповідними державними нормативними актами встановлений особливий порядок допуску. Після прибуття пожежного підрозділу адміністрація та технічний персонал підприємства, будівлі чи споруди, зобов'язані брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель та пристроїв, організувати залучення до вжиття необхідних заходів, пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил та засобів об'єкта.

4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На стійкість роботи об'єкта в надзвичайних ситуаціях мирного часу впливають такі фактори:

- надійність захисту робітників і службовців від дії і наслідків стихійних лих, аварій, катастроф;
- безпечність розташування об'єктів відносно зон можливих руйнувань;
- здатність об'єкту протистояти діям, спроможні заподіяти руйнування, пошкодження;
- безперебійність постачання об'єкта електроенергією, сировиною, комплектуючими матеріалами;
- підготовленість об'єкта до проведення рятувальних робіт і до поновлення виробництва;
- надійність і безперервність керування виробництвом.

Нові промислові об'єкти повинні будуватися з врахуванням вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості інженерно - технічного комплексу об'єкту:

- будівлі і споруди на об'єкті необхідно розміщувати розосереджено. Між будівлями повинні бути протипожежні розриви, шириною $L_p = H_1 + H_2 + 15$ м, де H_1 і H_2 – висота сусідніх будинків. Будинки адміністративно-господарського і обслуговуючого призначення повинні будуватися окремо від основних цехів;
- найбільш важливі виробничі споруди треба будувати заглибленими або пониженої висоти, прямокутної форми в плані. Це зменшить парусність будівлі і збільшить її опір ударній хвилі будь-якого вибуху;
- складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин повинні розміщуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля кордонів об'єкту, або за його межами;
- для підвищення стійкості до пожеж в будинках повинні застосовуватися вогнетривкі конструкції, а також вогнезахисна обробка горючих елементів будівлі. Велика за розмірами будівля повинна поділятися на секції вогнетривкими стінами;
- цінне устаткування потрібно розміщувати в підвальних приміщеннях чи підземних спорудах. Це зумовлене тим, що в багатьох випадках устаткування може витримати набагато більший надлишковий тиск ударної хвилі, ніж будівля, в якій воно знаходиться. При зруйнуванні будівлі внаслідок падіння конструкцій розміщене в ній устаткування буде пошкоджене;
- душові приміщення необхідно проектувати з врахуванням їх використання для санітарної обробки людей, а місця для миття машин з врахуванням використання їх для знезаражування автотранспорту. Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків у міську каналізаційну мережу і пристосування для аварійних викидів в підготовлені до цього місця;
- дороги повинні бути з твердим покриттям, достатньої ширини для двобічного руху. В'їздів на територію об'єктів повинно бути не менше 2-х з різних сторін.

4.5. Дорожній рух і забезпечення його безпеки

Дорожньо-транспортний травматизм обходиться країнам у 518 млрд. дол. у рік, що складає в середньому від одного до двох відсотків їхнього валового національного продукту.

Найбільший тягар несуть на собі країни з низьким і середнім рівнем доходів на душу населення. По оцінках експертів, якщо найближчим часом не будуть вжиті рішучі кроки по поліпшенню ситуації на дорогах, то до 2020 р. у цих країнах кількість смертей у результаті ДТП зросте на 80%.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, щорічно жертвами дорожньо-транспортних випадків (далі - ДТП) в усьому світі стають 1,2 млн. чоловік, а близько 50 млн. одержують поранення або залишаються інвалідами.

За повідомленням Європейської комісії в Брюсселі, дорожній рух на трасах Євросоюзу (далі – ЄС) однозначно став більш безпечним. У країнах ЄС загальне число аварій зі смертельним результатом скоротилося з 2010 р. на 13%, склавши 43731 випадок. Найбільш радикальне скорочення числа дорожніх аварій зафіксоване у Франції. За підсумками 2015 р. смертність на дорогах Франції в порівнянні з 2010 р. знизилася на 32%, склавши 5530 випадків. У Люксембурзі скорочення смертності на дорогах склало 30%, у Португалії – 23%, у Швеції – 17%, в Італії й Естонії – 16%. У Німеччині в 2015 р. число дорожніх аварій зі смертельним результатом скоротилося на 8,2% (це найнижчий показник смертності в Німеччині по статистиці останніх 50 років).

У цілому по Європі рівень смертності на дорогах у 2015 р. складав 79 загиблих на 1 млн. жителів Євросоюзу (цей показник постійно знижується, у 2012 р. – 95, 2010 - 103, а в 2008 – 162 загиблих на 1 млн.). У 2014-2015 рр. самими небезпечними в Європі були дороги в Латвії, де з кожного мільйона жителів у ДТП загинули 220 чоловік, і в Литві – 216 загиблих.

У доповіді Всесвітньої організації охорони здоров'я для Євросоюзу називаються причини такого стану: водії нових країн - учасників ЄС схильні перевищувати швидкісний режим, ігнорувати ремені безпеки і спеціальні засоби безпеки для дітей (дитячі крісла). Ще одна причина високої смертності на

дорогах - неготовність до оперативної роботи існуючих служб порятунку в умовах збільшення кількості аварій, віддаленість медичних пунктів від аварійних ділянок доріг.

У більшості країн Східної Європи, що переживають прискорений розвиток автомобілізації, інфраструктура доріг і розвиток служб безпеки не витримують зрослого навантаження. У Великобританії і США автомобілізація йде вже 30 - 40 років і розвивається разом з дорожньою інфраструктурою і системою надання медичної допомоги потерпілим в автомобільних аваріях, чого немає на пострадянському просторі.

Однією з причин аварій є недостатньо якісне укладання швидкісних доріг, не відповідним європейським стандартам. На думку Європейської комісії, існують траси, об'єктивно небезпечні для життя.

Середній рівень смертності на дорогах (число загиблих на 1 млн.

жителів), відповідно до статистики Євросоюзу в 2014 р., - в Україні (156 чоловік), Польщі (148 чоловік), Німеччині (71), Данії (69), Нідерландах (50), Великобританії (56), Швеції (54). Самий безпечний дорожній рух на Мальті – 33 загиблих на 1 млн. населення.

Досвід ряду країн з розвитою автомобілізацією, таких як Канада, Франція, Фінляндія і США, доводить, що знизити рівень аварійності й уникнути колосальних соціальних і економічних втрат можна, вживши послідовно ряд заходів:

- сформуванню гнучку й адекватну законодавчу основу по організації дорожнього руху;
- у сфері дорожньої інфраструктури - облаштувати пішохідні переходи, відремонтувати дороги, організувати необхідна кількість паркувань;
- приділити особливу увагу пропаганді безпечного руху і наочно показувати людям, до чого приводять порушення правил дорожнього руху.

Комітет безпеки дорожнього руху Міжнародної асоціації керівників поліцій сформулював 10 основних тенденцій в області руху автотранспортних засобів:

- збільшення завантаженості автомобільних доріг і кількості заторів на них;

- поява "інтелектуальних" транспортних засобів і "інтелектуальних" автомобільних доріг;
- зниження швидкості руху;
- зміна розмірів і маси транспортних засобів;
- підвищення агресивності на дорозі;
- збільшення кількості ДТП із вини водіїв літнього віку, частка яких у структурі населення зростає;
- більш широке застосування пристроїв автоматичного виявлення і фіксації порушень правил дорожнього руху;
- використання новітніх технічних засобів при роботі на місці ДТП;
- скорочення часу зупинки і перевірки водія і транспортного засобу;
- збереження важливої ролі дорожньої поліції в боротьбі зі злочинністю.

ВИСНОВКИ

У роботі досліджено моделювання руху транспортних засобів для інтелектуальних транспортних систем. Метою було розробити реалістичні моделі транспортного потоку. Було сформульовано п'ять підпитань, щоб охарактеризувати транспортний потік таким чином, щоб пом'якшити затори та зменшити викиди. Досліджувалися наступні задачі моделювання руху.

1. Дослідження було розпочато з дослідження моделі PW на її нереалістичну поведінку зупинки та рушання на розривах. Транспортний потік змінюється залежно від умов, що попереду. На основі цієї властивості була запропонована нова модель, згідно з якою швидкість і щільність руху регулюються пропорційно майбутнім змінам. Ця модель усуває недоліки моделі PW.
2. Досліджено перехідну поведінку транспортного потоку за допомогою моделі LWR. LWR характеризує транспортний потік на довгій ідеалізованій дорозі. Пристосування потоку до руху попереду залежить від безпечної швидкості. На основі цієї властивості була запропонована нова модель, яка включала реалістичні параметри для прогнозування транспортного потоку під час переходів.
3. Була запропонована нова модель для характеристики фізіологічної та психологічної реакції водія на зміни в транспортному потоці. Для повільної реакції трафік стає кластерним, тоді як для швидкої реакції потік трафіку є більш рівномірним. Параметр регулювання було введено для подальшого вдосконалення реакції водія на умови руху. Це дозволяє отримати більш реалістичну характеристику руху, ніж інші моделі.
4. Була запропонована нова модель для характеристики розподілу транспортного потоку на основі безпечного часу, взаємодії транспортних засобів, швидкості та реакції водія. Модель порівняли з моделлю PW і виявили, що кластери трафіку з новою моделлю охоплюють велику відстань. Запропонована модель дозволяє уникнути заторів і прагне створити плавну поведінку транспортного потоку.

5. Переваги маршруту були запропоновані на основі профілю швидкості маршруту. Переваги маршруту можна визначити на основі даних у реальному часі або попередньо записаних даних. Заслуговує на увагу простота вибору дорожньої мережі або дороги.

Рішення вищевказаних проблем запропоновано для реалістичної характеристики транспортного потоку, щоб зменшити затори та підвищити громадську безпеку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ardekani, S., & Herman, R. (1985). A comparison of the quality of traffic in downtown networks of various cities around the world. *Traffic Engineering & Control*, 26, 574–581.
2. Ardekani, S., & Herman, R. (1987). Urban network-wide traffic variables and their relations. *Transportation Science*, 21, 1–16.
3. Aw, A., & Rascle, M. (2000). Resurrection of “second order” models of traffic flow. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 60(3), 916–938.
4. Azemsha, S., Kravchenya, I., Vovk, Y., Lyashuk, O., & Vovk, I. (2021). Scheduling technique of route vehicles on duplicating stretches. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, (113).
5. Berg, P., Mason, A., & Woods, A. (2000). Continuum approach to car-following models. *Physical Review E*, 61(2), 1056–1066.
6. Chiquetto, S. (1997). The environmental impacts from the implementation of a pedestrian scheme. *Transportation Research Part D*, 2, 133–146.
7. Daganzo, C. F. (1995). Requiem for second-order fluid approximations of traffic flow. *Transportation Research Part B*, 29(4), 277–286.
8. Del Castillo, J. M., Pintado, P., & Benitez, F. G. (1994). The reaction time of drivers and the stability of traffic flow. *Transportation Research Part B*, 28(1), 35–60.
9. Grantham, P., & Ming-Hei, C. (2007). Route selection for vehicle navigation and control. In *Proceedings of the IEEE Conference on Industrial Electronics Society*, 2586–2591.
10. Hallmark, S. L., Guensler, R., & Fomunung, I. (2002). Characterizing on-road variables that affect passengers vehicle modal operation. *Transportation Research Part D*, 7, 81–98.
11. Herman, R., & Prigogine, I. (1979). A two-fluid approach to town traffic. *Science*, 204(4389), 148–151.
12. Herman, R., Malakhoff, L., & Ardekani, S. (1988). Trip time-stop time studies of extreme driver behaviors. *Transportation Research Part A*, 22, 427–433.

13. Hoffmann, G., & Janko, J. (1990). Travel times as a basic part of the LISB guidance strategy. In Proceedings of the IEE Conference on Road Traffic Control, 6–10.
14. Hong, S. Y., Chung, S. B., Lee, C., & Kho, S. Y. (2005). Analysis of two-fluid model using GPS data. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 560–572.
15. Hounsell, N. B., McDonald, M., & Lambert, R. A. (1992). The integration of scooter and dynamic route guidance. In Proceedings of the IEEE Conference on Road Traffic Monitoring and Control, 168–172.
16. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. (2017). Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 2(2), 57-66.
17. Kerner, B. S., & Konhuser, P. (1993). Cluster effects in initially homogeneous traffic flow. *Physical Review E*, 48(4), 2335–2338.
18. Khudobei, R. V., Bakan, S. A., & Vovk, Y. Y. (2023). Increasing the efficiency of technological support for transport operations. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем, 62.
19. Lighthill, M. J., & Whitham, J. B. (1955). On kinematic waves II: A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society A*, 229, 317–345.
20. Mahmassani, H., Williams, J. C., & Herman, R. (1987). Performance of urban traffic networks. In Proceedings of the Symposium on Transportation and Traffic Theory. Elsevier.
21. NASA Glenn Research Center. (n.d.). Mach number. Retrieved from www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/mach.html
22. Papageorgiou, M. (1998). Some remarks on macroscopic traffic modelling. *Transportation Research Part A*, 32(5), 323–329.
23. Papageorgiou, M., Blosseville, J.-M., & Hadj-Salem, H. (1990). Modelling and real-time control of traffic flow on the southern part of Boulevard Peripherique in Paris, Part-1: Modelling. *Transportation Research Part A*, 24(5), 345–359.

24. Payne, H. J. (1971). Models of freeway traffic and control. *Simulation Council Proceedings*, 1(1), 51–61.
25. Prigogine, I., & Herman, R. (1971). *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*. New York: Elsevier.
26. Roe, P. L. (1981). Approximate Riemann solvers, parameter vectors, and difference schemes. *Journal of Computational Physics*, 43(2), 357–372.
27. Savchenko, L., Grygorak, M., Polishchuk, V., Vovk, Y., Lyashuk, O., Vovk, I., & Khudobei, R. (2022). Complex evaluation of the efficiency of urban consolidation centers at the micro level. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, (115).
28. Savchenko, L., Zhigula, S., Yurchenko, K., Vovk, Y., & Oleksiuk, A. (2021). Combination of different means of parcel deliveries in urban logistics in adverse weather conditions. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 6(1), 6-17.
29. Shenpel, Z., & Xinping, Y. (2008). Driver's route choice model based on traffic signal control. In *Proceedings of the IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2331–2334.
30. Treiber, M., Kesting, A., & Thiemann, C. (2008). How much traffic congestion increase fuel consumption and emissions? Applying fuel consumption model to NGSIM trajectory data. *Proceedings of the Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
31. Vovk Y. Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies / Y. Vovk // *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 2016. – Vol. 1, No. 1. – p. 6-10. (Польща).
32. Whitham, G. B. (1974). *Linear and Nonlinear Waves*. New York: Wiley.
33. Вовк Ю. Аналіз стану транспортної системи України та перспективи її розвитку [Електронний ресурс] / Юрій Вовк // *Соціально-економічні проблеми і держава*. — 2015. — Вип. 2 (13). — С. 5-15.
34. Вовк Ю.Я. Комплексний підхід до вирішення проблем ресурсозбереження виробничих підприємств, сфери послуг та транспорту / Ю.Я. Вовк, О.Л.

- Ляшук, І.П. Вовк // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство (ТМІЕТ – 2017)", 21-22 вересня 2017 року, Херсон: ХДМА, 2017. - С. 15-16.
35. Вовк Ю.Я., Ляшук О.Л., Мосейко Ю.В., Хавтур П.В., Заривенний А.Р. Дорожній рух та його безпека: Програма «нульова смертність на дорогах» // Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 12 листопада 2019 року). Кривий Ріг, 2019. 346 с. – С. 71-74.
36. Вовк, Ю. Я., & Худобей, Р. В. (2021). Контроль дотримання безпеки перевезень на громадському транспорті в умовах карантинних обмежень з використанням інтелектуальних транспортних систем. Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. 238 с.
37. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» дипломної роботи (для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології») / Укл.: Вовк Ю.Я., Цьонь О.П., Вовк І.П. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – 28 с.
38. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.