



СТІЕМ
www.stiem.info

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Монографія

**Харків
2020**

УДК 504:656
ББК 28.081:39.8
Л 40

Рецензенти: **Н.У. Гюлев**, доктор технічних наук, професор,
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
С.В. Анісімова, кандидат географічних наук, доцент,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

Автори: І.Е. Линник (розділ 1); О.І. Лежнева (розділ 2);
Є.В. Дорожко (розділ 3); К.Є. Вакуленко, Н.А. Соколова (розділ 4);
І.А. Афанасьєва (розділ 5).

Л 40 Екологічні аспекти автотранспортного комплексу:
монографія / І.Е. Линник, О.І. Лежнева, Є.В. Дорожко та ін. – Харків:
Видавництво «Смугаста типографія», 2020. – 194 с.

ISBN 978-617-7602-82-7

В монографії представлено методику оптимізації заходів щодо зниження витрат палива і кількості забруднюючих атмосферу викидів під час руху транспорту міськими вулицями та автомобільними дорогами.

Читач знайде в монографії результати досліджень інгредієнтно-параметричного забруднення придорожньої території міської вулиці від роботи автомобільного транспорту, а також нові параметри шумозахисного бар'єру для захисту сельбищної території.

Окрему увагу приділено рівності покриття дорожнього одягу, як фактору, що впливає на рівень акустичного і інгредієнтного забруднення придорожнього простору. Представлено реалізацію принципу управління якістю перевезень на міському пасажирському транспорті з урахуванням екологічної складової. Розглянуто один із проявів екологічного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище, а саме: дорожньо-транспортні пригоди і причини їх виникнення на вулично-дорожній мережі міста.

Розрахована на студентів старших курсів вищих технічних закладів, магістрів, аспірантів та наукових працівників.

Головний редактор:
кандидат технічних наук, доцент Лежнева Олена Іванівна

ISBN
978-617-7602-82-7

ББК 28.081:39.8
© НК «СТіЕМ», 2020

ВСТУП

Автотранспортний комплекс — ключовий елемент транспортної системи країни. Він виконує більше половини обсягу пасажирських перевезень і три чверті вантажних перевезень. В інфраструктурі транспортної галузі налічується кілька тисяч великих і середніх автотранспортних підприємств і організацій, які зайняті пасажирськими та вантажними перевезеннями. З розвитком ринкових відносин у великій кількості з'явилися комерційні транспортні організації невеликої потужності. Вони виконують автомобільні перевезення, технічне обслуговування і ремонт автомобілів, надають сервісні послуги та здійснюють інші види діяльності.

За перші десятиліття XXI ст. відзначається стійка тенденція зростання чисельності автотранспортних засобів, особливо тих, що знаходяться в особистому користуванні. Однак протяжність доріг і кількість об'єктів транспортної інфраструктури зростають більш низькими темпами, що викликає різні транспортні проблеми.

Транспортні засоби є джерелом підвищеної небезпеки для життя і здоров'я людей через можливі дорожньо-транспортні пригоди, шкідливі викиди, транспортний дискомфорт, споживання природних ресурсів. Водночас, транспортні засоби спричиняють позитивні соціально-економічні та морально-психологічні ефекти.

Об'єкти транспорту здійснюють як позитивний, так і негативний вплив на екосистеми. З одного боку, вони своєю діяльністю порушують принципи функціонування екосистем. Внаслідок транспортної діяльності екосистеми можуть деградувати і втрачати стійкість. На сьогодні частку транспортної галузі у загальному антропогенному забрудненні навколишнього середовища оцінюють майже в 40 %. Це більше, ніж будь-якої іншої галузі промисловості. З іншого боку, транспорт забезпечує переміщення людей та матеріальних цінностей, чим забезпечує комфортабельніші умови життєдіяльності.

До позитивних впливів транспортних засобів можна віднести:

- розвиток торгівлі, політичних, культурних зв'язків, розширення контактів;
- стимулювання науково-технічного прогресу та сприяння створенню додаткових робочих місць;

- участь у виробничих процесах і, як наслідок, скорочення інноваційних циклів при виробництві товарів;
- надання відчуття свободи і незалежності індивіду;
- розширення можливостей для життя у сприятливих умовах;
- збільшення життєвого простору окремого індивіда;
- підвищення доступності соціально-побутових послуг для споживачів;
- задоволення потреби споживачів у широкому асортименті товарів;
- надання відчуття радості від комфорту і зручностей за несприятливих погодних умов.

До негативних впливів транспортних засобів відносять:

- порушення газової і енергетичної рівноваги в атмосфері;
- виснаження ресурсів атмосфери, корисних копалин, прісної води;
- знищення живих організмів в дорожньо-транспортних пригодах; отруєння біологічних ресурсів, зокрема рослин, тварин та людини;
- посилення стресових навантажень на учасників руху;
- зменшення життєвого простору за рахунок відчуження територій;
- скорочення біологічної продуктивності ландшафтів;
- порушення гармонії міської забудови і сільського ландшафту.

Збільшення чисельності автопарку, недосконалі автошляхи та не ефективна організація руху транспортних потоків, – все це призводить до загострення екологічних проблем. Вони поглиблюються через збільшення середнього віку і низького рівня техніко-експлуатаційних показників автотранспортних засобів. Основна маса, а це більш 80 %, шкідливих речовин викидається автотранспортом на територіях населених пунктів. Автомобільний транспорт як і раніше зберігає лідерство в забрудненні атмосфери міст. Простежується стійка кореляційна залежність між викидами автотранспорту та захворюваністю населення.

В монографії зроблена спроба на основі єдиного методологічного підходу обґрунтувати можливі рішення транспортних екологічних проблем.

Інтенсивна урбанізація спричинила цілу низку складних екологічних проблем, до яких можна віднести забруднення атмосфери, ґрунтів і джерел води.

Небезпека забруднення хімічними речовинами внаслідок функціонування дорожнього комплексу оцінюється рівнем її можливого негативного впливу на атмосферу, ґрунти, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин і людей [1–25].

Забруднення навколишнього природного середовища уздовж автомобільних доріг поділяють на дві категорії: транспортні та позатранспортні.

До транспортних забруднень відносять вихлопні гази, паливно-мастильні матеріали та їх відходи, продукти стирання гальмових накладок та шин, електромагнітне випромінювання, шум. До позатранспортних забруднень відносять протиожедні солі, дорожньо-будівельні матеріали і в'язучі, злизові стоки з поверхні дорожніх покриттів, пил, сміття.

Основним джерелом виділення і викиду шкідливих речовин на автомобільних дорогах є транспортні засоби [22, 26–28]. Відпрацьовані гази, продукти зношення механічних частин і покришок автомобіля, а також дорожнього покриття складають більше половини атмосферних викидів антропогенного походження.

Вплив транспортного потоку на навколишнє середовище розглядається як сума впливів одиночних автомобілів. Екологічна небезпека одиночного автомобіля визначається не тільки його конструкцією, але й режимом руху [22–25, 27–29].

Одним з найважливіших завдань проектування, будівництва та експлуатації міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз дорожнього господарства є забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів [22–25, 30, 31].

Останніми роками було досягнуто певних успіхів у розробці методів зниження витрат палива і кількості викидів, що забруднюють атмосферу [13, 17–25, 27, 28, 32–37]. Однак сучасні методи планування заходів щодо зниження енерговитрат і кількості забруднюючих атмосферу викидів під час руху транспортних потоків

не передбачають системної оптимізації обсягів робіт за кожним із заходів. Складність оптимального планування заходів пов'язана з нерозробленістю методів оцінки фактичних швидкостей руху та витрат палива в різних дорожніх умовах.

Мета роботи полягає у розробці методики оптимізації заходів щодо зниження витрат палива і кількості забруднюючих атмосфери викидів під час руху транспорту міськими вулицями та автомобільними дорогами.

До основних задач, що вирішуються в роботі, відносяться:

- розробка критеріїв та показників ефективності комплексної оптимізації заходів з економії енергоресурсів і зниження забруднення природного середовища автомобільним транспортом;
- розробка теоретичної моделі оптимізації показників стану системи «дорога – навколишнє природне середовище»;
- розробка математичної моделі системної оптимізації обсягів робіт з удосконалення елементів вулиць і доріг, спрямованих на зниження енерговитрат і забруднюючих атмосфери викидів.

На відміну від запропонованих раніше методів розв'язання проблеми оптимізації заходів, спрямованих на економію енергоресурсів, в цій роботі приділено увагу системній оптимізації заходів з огляду на технічні вимоги автомобілів, вимоги водіїв та санітарно-технічні вимоги пішоходів.

1.1 Методи призначення заходів щодо зниження енерговитрат і охорони природи

Для оцінки забруднення атмосфери, ґрунтів і джерел води застосовуються методи біотестування, біодіагностики. Сьогодні, коли загострене протиріччя між економікою та екологією, важливо, щоб методи оцінки могли не тільки давати об'єктивне уявлення про стан атмосфери, ґрунтів і джерел води, але й були доступні в матеріальному плані.

Сучасні методи призначення заходів, спрямованих на зниження витрат палива й охорону природи, спираються на техніко-економічні критерії. Доцільність запровадження заходів встановлюють способом порівняння збитку від шкідливих викидів і підвищених витрат палива з вартістю робіт з удосконалення дорожніх умов. Річний збиток на 1 км дороги найчастіше розраховують за формулами

Ю. Ф. Гутаревича [1, 38–42]:

$$Y_i = \left[\sum_{i=1}^n C_i (g_{i\partial} - g_{io}) k_i N_i + C_m (Q_{m.\partial} - Q_{m.o}) k_m N_i \right] 10^{-6}, \quad (1.1)$$

де C_i, C_m – збиток від викиду 1 тони i -ої шкідливої речовини і ціна 1 тони палива, грн./т;

$g_{i\partial}, g_{io}$ – питомі викиди i -ої шкідливої речовини основними моделями автомобілів у дорожніх умовах руху, що порівнюють, г/км;

k_i, k_m – поправочні коефіцієнти переходу від основних моделей автомобілів до досліджуваних під час розрахунку шкідливих викидів і витрат палива;

N_i – кількість автомобілів зазначеної моделі, що проїжджають на ділянці дороги протягом року;

$Q_{m.\partial}, Q_{m.o}$ – пробігові витрати палива до і після зміни дорожніх умов.

Загальний збиток від усього потоку, що включає m груп однотипних автомобілів, дорівнює:

$$Y_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^m Y_i. \quad (1.2)$$

Загальний збиток додається до транспортних витрат. Останні включають у розрахунок коефіцієнта економічної ефективності заходів. Отриманий коефіцієнт розглядають як кількісний критерій ступеня ефективності додаткових капіталовкладень у проведенні заходи.

Аналогічний підхід використовується в роботах А. А. Миронова, І. Є. Євгенєва [2, 43]. Головні принципи охорони навколишнього середовища під час будівництва та експлуатації автомобільних доріг і міських вулиць зводяться до мінімізації загальних екологічних втрат:

$$R = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n r_{ijk} \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де r_i – абсолютно непоправні втрати, пов'язані зі зміною біогеоценозів за межами самовідновлення, коли окремі біологічні популяції знищено;

r_j – кількісний збиток абіотичним екологічним елементам;

r_k – оборотні втрати живої природи в межах самовідновлення або відновлення за допомогою людини.

У кінцевому підсумку екологічні втрати оцінюють у грошах [44].

Зрештою ефект від заходів з охорони природи $\mathcal{E}_{оп}$ подається у вигляді:

$$\mathcal{E}_{оп} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{нкр} , \quad (1.4)$$

де $\mathcal{E}_c$ – ефект від оздоровлення (скорочення забруднення) середовища;

$\mathcal{E}_{нкр}$ – ефект від раціонального використання природних ресурсів.

Заходи, що впроваджують, зазвичай призначають без огляду на їх взаємний вплив й умови прокладання автомобільної дороги чи міської вулиці. Так, наприклад, економіко-математична модель В. С. Торова оптимізує тільки розширення проїжджої частини кар'єрних доріг без урахування інших її елементів [32]. Цільова функція цієї моделі представлена у вигляді:

$$\left[\left(C_1 L b + C_2 L_\partial b a + C_3 L_\partial b a + C_4 N + C_5 N + C_6 N \right) / \Pi_k \right] E \rightarrow \min, \quad (1.5)$$

$$\left[+ C_7 + C_8 + C_9 N + C_{10} N + C_{11} L b + k_t \right]$$

де C_1, C_3 – вартість утримання 1 м² постійних і тимчасових доріг відповідно, грн.;

b – розмір розширення доріг, м;

L – довжина постійних доріг, м;

C_2 – вартість будівництва 1 м² тимчасових і відвальних доріг, грн./м²;

L_∂ – довжина тимчасових доріг, м;

a – середньорічна кратність перенесення тимчасових доріг;

C_4 – вартість ремонтів і амортизаційні відрахування на 1 самоскид, грн. на 1000 км пробігу;
 C_5 – фонд заробітної плати на 1 самоскид, грн./рік;
 N – парк самоскидів за списком, $N = \Pi_k / \Pi_a$;
 Π_k – продуктивність кар'єра по автотранспорту, т/рік;
 Π_a – середньозважена продуктивність 1 самоскида, т/рік;
 k_t – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату;
 C_6 – вартість річного утримання гаражного господарства на 1 самоскид, грн.;
 C_7, C_8 – витрати на паливно-мастильні матеріали та на шини відповідно (на 1000 км пробігу), грн.;
 C_9 – вартість одного автосамоскида, грн.;
 C_{10} – вартість гаражного господарства в розрахунку на 1 самоскид, грн.;
 C_{11} – вартість будівництва 1 м² постійних автомобільних доріг, грн.

Емпірична модель О. А. Білятинського дозволяє оптимізувати тільки середню кривизну траси в просторі без огляду на всю безліч факторів середовища руху, що впливають на витрати палива [33]. Оптимальну кривизну траси знаходять як екстремум функції:

$$Q = 10,39 - 10,22P + 31,69P^2, \quad (1.6)$$

де Q – витрати палива на 100 км дороги;

P – спеціальний параметр, що розраховується за формулою:

$$P = 0,5\sqrt{K_h^2 + K_\omega^2}, \quad (1.7)$$

де K_h, K_ω – коефіцієнти, що характеризують середню кривизну траси в плані й поздовжньому профілі відповідно, рад/км.

Аналогічно модель В. І. Белозерова дозволяє оптимізувати тільки питомий опір коченню колеса автомобіля та поздовжній ухил дороги. Зазначені параметри дороги знаходять через екстремум функції [45]:

$$E_j = 3,68 \cdot 10^{-3} (q_e / h_n) k_m (W_j + i_j), \quad (1.8)$$

де E_j – витрати пального, кг/(т·км);

k_m – коефіцієнт тари;

W_j, i_j – питомий опір качінню та ухил на j -ій ділянці дороги відповідно.

Експериментальні дослідження витрат палива в реальних дорожніх умовах В. М. Сегеркранца дозволили встановити реальні поєднання окремих елементів плану та поздовжнього профілю автомобільної дороги, раціональні типи покриттів дорожніх одягів тощо [46]. Системну оптимізацію елементів доріг за критерієм енерговитрат зведено до врахування впливу цих елементів на швидкість руху автомобіля, яка розраховується за допомогою регресійного рівняння вигляду [34, 47]:

$$V = b_0 + \sum_i^9 b_i x_i, \quad (1.9)$$

де b_0 – постійна; $b_1 \dots b_9$ – множники факторів $x_1 \dots x_9$;

x_1 – інтенсивність руху, авт./год;

x_2 – частка легкових автомобілів у потоці руху, %;

x_3 – індекс погодно-кліматичних умов;

x_4 – частка автомобілів, що їдуть у колонах, %;

x_5 – сумарна кривизна на ділянці;

x_6 – частка ділянок із видимістю зустрічного автомобіля, що менше або дорівнює 460 м, %

x_7 – мінімальна довжина видимості на ділянці, м;

x_8 – частка довжини траси в населених пунктах, %;

x_9 – кількість перехресть.

Оцінка впливу здійснювалась через інформаційне завантаження водія [46], яке визначалося методами статичної теорії інформації.

Розрахунок інформаційного завантаження водія за допомогою частоти появи того чи іншого значення параметра дороги в заданому інтервалі часу руху виявився недостатнім, через те що не

враховувалась психологічна специфіка діяльності водія (мотиви діяльності, цільові установки тощо). Унаслідок розрахунки витрат палива за швидкістю руху часто виявлялися неадекватними експериментальним даним.

У методах удосконалення схем організації дорожнього руху з урахуванням екологічних характеристик, що розроблені в Українському транспортному університеті [48], використовується цільова функція у вигляді:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m K_i^J l_i}{L} \rightarrow \min, \quad , \quad (1.10)$$

$$Z = Z_{\partial y} - (Z_{ny} + Z_y) \rightarrow \max,$$

де K – комплексний екологічний критерій;

K_i^J – комплексний екологічний критерій, що дає оцінку примагістральній смузі на i -му типовому елементі при j -му рівні організації дорожнього руху;

l_i – довжина i -го типового елемента, км;

m – число типових елементів, на які розбивають вулично-дорожню мережу;

L – сумарна довжина всіх ділянок;

$Z_{\partial y}$ – наведені витрати до удосконалення схем організації дорожнього руху, грн;

Z_{ny} – наведені витрати після вдосконалення схем організації дорожнього руху, грн;

Z_y – витрати на вдосконалення схем організації дорожнього руху, грн.

Екологічний критерій розраховується за формулою:

$$K_i^J = 1 + \sum_{r+1}^K \varphi_{i,r+1}, \quad (1.11)$$

де $\varphi_{i,r+1}$ – вагові коефіцієнти для приведення екологічних характеристик до базових;

$$\varphi_{i,r+1} = \frac{Y_{i,r+1}}{Y_{i,r}}, \quad (1.12)$$

де $Y_{i,r}$, $Y_{i,r+1}$ – збиток, що завдається навколишньому середовищу на i -ому типовому елементі від величини впливу r -ої і $(r+1)$ -ої екологічної характеристики, грн.

Аналіз цільової функції в формі (1.10) показує, що автори прагнуть отримати мінімальний екологічний збиток, який завдається навколишньому середовищу за максимуму прибутку від удосконалення схем організації руху. Однак таке трактування логічно суперечливе та його вимоги неможливо виконати.

Аналіз існуючих методів призначення природоохоронних заходів довів, що вони мають несистемний характер. Крім того, спроби врахування негативного впливу дороги на біоценози, ландшафти в межах техніко-економічного підходу обмежені можливостями методів довготривалого прогнозування. Унаслідок сучасні, а не майбутні технологічні та економічні можливості суспільства стають основою, на якій будуються докази ефективності природоохоронних заходів.

Техніко-економічний підхід є природним наслідком прагнення людського суспільства до незалежності від природи. Усвідомлення себе як частини природи призвело до формування переконання в тому, що людина не може ставити себе стосовно природи в положення «завойовника» і перетворювати природу тільки на підставі критерію вигоди для себе. Не відокремлення від природи, а гармонійне єднання з нею стає прогресивною метою подальшого розвитку людського суспільства. Отже, виникає необхідність розробки комплексних, інтегративних критеріїв, стосовно яких грошові витрати будуть тільки деяким окремим випадком.

1.2 Критерії та показники ефективності оптимізації

Призначення заходів щодо підвищення рівня якості автомобільних доріг і міських вулиць потребує врахування чотирьох головних їхніх функцій: попередження забруднення навколишнього середовища; мінімізація енерговитрат під час руху

автомобілів; попередження виникнення і поширення транспортного безладу, спричиненого заторами та дорожньо-транспортними пригодами; попередження повного транспортного хаосу [49].

Ці функції мають різний сенс під час вирішення завдань проектування та експлуатації доріг. Наприклад, якщо розглядати тільки аспект функціонування дороги, тоді вони можуть бути інтерпретовані як максимізація числа автомобілів, що проходять через поперечний переріз дороги в одиницю часу. З іншого боку, для учасника руху (водія) ці функції можуть інтерпретуватись як зниження часу проїзду по дорозі, зниження транспортної втоми, зношення рухомого складу і витрати пального.

Часто функції, які задають, виявляються суперечливими. Наприклад, «найкращим» вирішенням проблеми забруднення навколишнього середовища й витрат пального є повна заборона будь-якого дорожнього руху. Однак таке вирішення входить у конфлікт із принципом найефективнішого використання доріг і вулиць і, зазвичай, не реалізується доти, доки або не буде введена нова транспортна система, що замінює використання автомобілів, або соціальна й економічна діяльність у районі прокладання дороги чи вулиці повністю зміниться.

Це різноманіття інтерпретацій вимог в обґрунтуванні заходів ускладнює встановлення універсальних критеріїв. Якщо ж вдатися до такого засобу, як зважена сума критеріїв, тоді проведення систематичного дослідження зіткнеться зі значними труднощами. Кращим виходом із суперечливості локальних критеріїв є перехід до більш високих цілей, тобто вимог система більш високого порядку. У цих високих цілях часткові цілі можуть використовуватись як обмеження під час розв'язання оптимізаційних задач.

Дослідження Я. Дітріха демонструють, що таким цілям відповідають критерії соціально-технічної адекватності [50]. На думку Е. С. Геллера та І. Б. Новіка таким критерієм може бути «біосферосумісність» технічних засобів людської діяльності [51]. Наслідком біосферосумісності автомобільної дороги чи вулиці загалом та заходів, спрямованих на досягнення часткових цілей, є життєвість технічних засобів і навколишнього природного середовища. Отже, як показники «біосферосумісності» можуть бути або ймовірність загибелі системи «дорога – навколишнє природне середовище», або час існування цієї системи. Загибель біоценозів, ландшафтів, або руйнування дороги призводить до загибелі названої

вище системи з її властивостями та якістю. Тільки гармонійне поєднання компонентів цієї системи здатне максимізувати час її існування.

Зважаючи на викладене, проста математична модель оптимальної поведінки системи «дорога – навколишнє природне середовище» формулюється у такий спосіб.

Для прикладу уявимо систему, стан якої визначається n -мірним вектором $\bar{F}$. Координати $f_1, f_2, \dots, f_n$ збільшуються з постійними швидкостями $\bar{U} (u_1, u_2, \dots, u_n) \quad u_i \geq 0$. Природа загалом описується безліччю ситуацій, в яких може знаходитись система «дорога – навколишнє природне середовище» – $S_c = S_{c1}, S_{c2}, \dots, S_{cn}$. В i -тій ситуації на відповідну i -ту координату системи – f_i , чиниться вплив, що зменшує її зі швидкістю V_i , тобто в ситуації S_i система «дорога – навколишнє природне середовище» рухається зі швидкістю $\bar{V}_i (u_1, u_2, \dots, u_i - v_i, v_n)$.

У будь-який момент система може переходити від однієї ситуації до іншої. Ніяких обмежень не накладається. Навколишнє природне середовище розглядають як частину природи загалом, на яку поширюється значущий вплив дороги [52]. Вважатимемо, що система «дорога – навколишнє природне середовище» існує, якщо вектор $\bar{F}$ не виходить за межі області допустимих значень, границі якої задано рівнянням $L(F)=0$. Значення регульованих змінних можуть лежати тільки в першому ортанті, тобто всі $f_i \geq 0, i=1, n$. Потрібно знайти для цієї системи оптимальну тактику поведінки – правило зміни ситуацій, що максимізує час існування системи T , тобто:

$$T \rightarrow \max. \quad (1.13)$$

Істотним моментом у формулюванні поставленого завдання є опис стану системи. Для кількісної оцінки стану можна використовувати показники адекватності системи природи за формулою Е. В. Гаврилова [53]:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (1.14)$$

де α_i – вагові коефіцієнти i -ої координати стану.

Цей показник характеризує відповідність системи принципам функціонування природи. Е. В. Гавриловим сформульовані три головні принципи, які є наслідком еволюції живого та яким має бути адекватна проектована система [52, 54, 55]:

1. Принцип найменшої взаємодії.

Згідно з цим принципом екосистема й природа загалом прагне так організувати свою поведінку, щоб при мінімальній дії забезпечити максимальну ефективність продукування. Наслідком цього принципу є прагнення екосистеми звільнитися від напруги й перевантажень і водночас максимізувати засоби для існування. Адекватність системи цьому принципу може бути оцінена показником:

$$f_1 = \frac{\varphi_1}{\varphi_n}, \quad (1.15)$$

де f_1 – показник адекватності системи принципу найменшої взаємодії;

φ_1 – показник взаємодії системи з природою;

φ_n – оптимальний показник взаємодії (норма показника φ_1).

2. Принцип біологічної сумісності.

Згідно з цим принципом властивості живих систем мають бути поширені на технічні системи, тобто технічна система має бути наділена властивостями живого. Унаслідок технічна система включається в кругообіг речовин і каскадний процес передачі енергії, речовини та інформації. Адекватність системи цьому принципу може бути оцінена показником:

$$f_2 = \frac{\varphi_n}{\varphi_{\Sigma n}}, \quad (1.16)$$

де f_2 – показник адекватності системи принципу біологічної сумісності;

$\varphi_{\Sigma n}$ – норма показника взаємодії для групи екосистем.

3. Принцип гомеостазису.

Згідно з цим принципом у процесі життєдіяльності екосистема утримує в допустимих межах деяку сукупність параметрів свого стану. Адекватність системи цьому принципу оцінюється показником:

$$\alpha_{31} = \frac{\varphi_H}{\varphi_z}, \quad (1.17)$$

де α_{31} – показник адекватності системи принципу гомеостазису;

φ_z – граничне значення показника взаємодії.

Стосовно групи систем цей показник трансформується до вигляду:

$$\alpha_{32} = \frac{\varphi_{\Sigma_H}}{\varphi_{\Sigma_z}}, \quad (1.18)$$

де φ_{Σ_z} – граничне значення показника взаємодії для групи систем.

Згідно з Е. В. Гавриловим, показники α_{31} , α_{32} можуть бути використані як вагові для показників f_1 і f_2 .

З урахуванням вищевикладеного

$$\bar{F} = \frac{\frac{\varphi_1}{\varphi_H} \cdot \frac{\varphi_H}{\varphi_z} + \frac{\varphi_H}{\varphi_{\Sigma_H}} \cdot \frac{\varphi_{\Sigma_H}}{\varphi_{\Sigma_z}}}{\frac{\varphi_H}{\varphi_z} + \frac{\varphi_{\Sigma_H}}{\varphi_{\Sigma_z}}},$$

або

(1.19)

$$\bar{F} = \frac{\varphi_1 \varphi_{\Sigma_z} + \varphi_H \varphi_z}{\varphi_H \varphi_{\Sigma_z} + \varphi_{\Sigma_H} \varphi_z}.$$

По суті вектор стану системи «дорога – навколишнє природне середовище» оцінюється середньозваженим показником її адекватності природі загалом.

У разі, якщо будь-який з показників взаємодії перевищує граничне значення, тоді оцінка вектора стану за середньозваженим показником виявляється неможливою. Через це для показників $\varphi_i > \varphi_r$ необхідно ввести власну оцінку:

$$\begin{aligned} b &= 0 && \text{за } \varphi_i \prec \varphi_r, \\ b &= \sum_{i=1}^n \left[1 + \left(f_i - \frac{1}{\alpha_i} \right) \right] && \text{за } \varphi_i \succ \varphi_r. \end{aligned} \quad (1.20)$$

Тоді вектор стану системи можна оцінити за формулою:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} + \sum_{i=1}^n \left[1 + \left(f_i - \frac{1}{\alpha_i} \right) \right]. \quad (1.21)$$

Якщо система складається з декількох підсистем, тоді вектор її стану можна оцінити за формулою:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{F}_i \beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i} + b, \quad (1.22)$$

де

$$\begin{aligned} b &= 0 && \text{за } \bar{F}_i \prec \bar{F}_{i2p}, \\ b &= \sum_{i=1}^n \left[1 + \left(\bar{F}_i - \frac{1}{\beta_i} \right) \right] && \text{за } \bar{F}_i \succ \bar{F}_{i2p}. \end{aligned}$$

де $\bar{F}_{i2p}$ – гранично допустимий вектор стану i -ої підсистеми;

$\bar{F}_{in}$ – нормальний (оптимальний) вектор стану i -ої підсистеми;

β_i – ваговий коефіцієнт вектора стану i -ої підсистеми:

$$\beta_i = \frac{\bar{F}_{in}}{\bar{F}_{igr}}.$$

Введення заходів з охорони природи і зниження витрат палива автомобілями під час дорожнього руху призводить до зміни стану системи «дорога – навколишнє природне середовище» на величину:

$$\Delta\bar{F} = \bar{F} - \bar{F}_0, \quad (1.23)$$

де $\bar{F}$, $\bar{F}_0$ – показники стану системи до і після введення заходів.

У нормі $\bar{F}=1$, тому оптимальна зміна стану системи $\Delta\bar{F}_{opt}$ дорівнює:

$$\Delta\bar{F}_{opt} = 1 - \bar{F}_0. \quad (1.24)$$

Зміна показника стану $\Delta\bar{F}$ є результатом вживання заходів, їхнім ефектом і, через це може використовуватись для кількісної оцінки ефекту.

Для отримання ефекту необхідні певні витрати S . Відношення $\Delta\bar{F}$ до S характеризує ефективність заходів:

$$E = \frac{\Delta\bar{F}}{S}, \quad (1.25)$$

де E – коефіцієнт ефективності.

Ефективність оптимального ефекту:

$$E_{opt} = \frac{1 - \bar{F}_0}{S_m},$$
$$E_{opt} = \frac{1 - \bar{F}_0}{S_m},$$

де S_m – витрати на отримання ефекту $\Delta\bar{F}_{opt}$.

Відношення фактичної ефективності до оптимальної характеризує потенційну ефективність заходу:

$$E_n = \frac{E}{E_{opt}} = \frac{\bar{F} - \bar{F}_0}{1 - \bar{F}_0} \cdot \frac{S_m}{S}, \quad (1.26)$$

де E_n – коефіцієнт потенційної ефективності.

Коефіцієнт потенційної ефективності змінюється в межах $0 \leq E_n \leq 1$ і може використовуватись як для оцінки окремих заходів, так і для їх сукупності.

1.3 Оптимізація показників стану системи

Вимога максимізації часу існування системи «дорога – навколишнє природне середовище» дозволяє подати цільову функцію оптимізації стану у вигляді:

$$T \xrightarrow{f_i} \max. \quad (1.27)$$

Час існування системи можна розглядати як період, протягом якого фактичне значення i -ої координати стану f_i набуває свого гранично допустимого значення f_{in} , що обмежує область можливого гомеостатичного регулювання. Тому, якщо в початковий момент часу t_0 система знаходилася в точці $\bar{F}^0$, а пізніше перемістилася до межі допустимої області, тоді:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1.28)$$

де t_i – час руху i -ої координати стану до межі допустимої області зі швидкістю $\bar{V}_i$.

За цей час стан системи зміниться на величину

$$\Delta \bar{F} = \sum_{i=1}^n t_i \bar{V}_i. \quad (1.29)$$

На межі допустимої області вектор стану системи опишеться рівнянням:

$$\bar{F}(t_0 + T) = \bar{F}(t_0) + \sum_{i=1}^n t_i \bar{V}_i. \quad (1.30)$$

Перепишучи формулу (1.30) в координатній формі, отримаємо:

$$f_i - f_i^0 = u_i T - t_i v_i. \quad (1.31)$$

Розділяючи вираз (1.31) на v_i і підсумовуючи по i , час існування системи запишемо так:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1} - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{f_i^0}{v_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1}, \quad (1.32)$$

або

$$T = \frac{r(\bar{F})}{R} - \frac{r(\bar{F}^0)}{R}, \quad (1.33)$$

де

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1; \quad r(\bar{F}) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i}; \quad r(\bar{F}^0) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i^0}{v_i}.$$

Враховуючи (1.33), задача (1.27) набуде такого вигляду:

$$\frac{r(\bar{F})}{R} - \frac{r(\bar{F}^0)}{R} \xrightarrow{f_i} \max \quad (1.34)$$

за умови:

$$\begin{aligned} L(\bar{F}) &= 0, \\ f_i &\geq 0, \\ \bar{F} &\in x, \end{aligned}$$

де x – безліч точок, що відповідають рівнянню (1.30).

Величина $\frac{r(\bar{F}^0)}{R}$ є постійною, тому її можна відкинути з рівняння (1.34). Крім того, через те що $R > 0$, тоді задача (1.34) набуде такого вигляду:

$$\begin{aligned} r(\bar{F}) &\xrightarrow{f_i} \max, \\ L(\bar{F}) &= 0, \\ f_i &\geq 0, \\ \bar{F} &\in x. \end{aligned} \tag{1.35}$$

Дослідженнями Е. В. Гаврилова, В. М. Іванова, Г. В. Коренєва, В. І. Єрохова доведено, що допустима область зміни координат стану біологічної системи може бути обмежена рівнянням еліпсоїда [35, 36, 54, 56–63]:

$$L(\bar{F}) = \sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 = 0, \tag{1.36}$$

де k_i – коефіцієнт, що залежить від півосі еліпса по i -ій координаті.

Вважаючи, що на поверхні еліпсоїда i -та координата стану, яка характеризує принцип найменшої взаємодії, дорівнює $f_1 = \varphi_{zi} / \varphi_{ni}$, отримаємо $k_1 = \frac{\varphi_{ni}^2}{\varphi_{zi}^2} = \alpha_{31}^2$. Стосовно принципу біосумісності на поверхні еліпсоїда має виконуватись умова $f_2 = \varphi_{\Sigma z} / \varphi_{\Sigma n}$. Через це $k_2 = \frac{\varphi_{\Sigma n}^2}{\varphi_{\Sigma z}^2} = \alpha_{32}^2$.

З огляду на формулу (1.36) задача (1.34) виглядатиме так:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i} &\xrightarrow{f_i} \max, \\
\sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 &= 0, \\
f_i &\geq 0, \\
\overline{F} &\in x.
\end{aligned}
\tag{1.37}$$

Задача (1.37) зводиться до пошуку екстремуму лагранжіану:

$$Z(\overline{F}, \mu) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i} - \mu \left(\sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 \right), \tag{1.38}$$

де μ – невизначений коефіцієнт Лагранжа.

Функція (1.38) має екстремум у точці:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Z}{\partial f_i} &= 0, \\
\frac{\partial Z}{\partial \mu} &= 0, \\
i &= \overline{1, n},
\end{aligned}
\tag{1.39}$$

або у вигляді:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{1}{v_i} - \mu 2k_i f_i &= 0 \\
-\sum_{i=1}^n f_i^2 k_i + 1 &= 0 \\
i &= \overline{1, n}
\end{aligned} \right\} \tag{1.40}$$

Аналіз геометричного рішення системи (1.40) дозволив А. Л. Шамісу і Б. Ю. Левіту встановити локальне правило управління координатами стану f_i , яке максимізує час існування системи «дорога – навколишнє природне середовище» [64]. Це правило полягає в такому: в кожний момент часу система повинна рухатись тим напрямком V_i , для якого виконується умова:

$$\max_i k_i f_i V_i. \quad (1.41)$$

Насамперед має здійснюватись вплив на ту координату f_i , для якої максимум добутку становить $k_i \cdot f_i \cdot V_i$.

Оцінка необхідного ступеня впливу може бути отримана шляхом розв'язання задачі оптимізації в формі:

$$\begin{aligned} E &\xrightarrow{\Delta F} \max, \\ S &= S_g \end{aligned} \quad (1.42)$$

де S , S_g – фактичні і допустимі витрати на перетворення вектора стану $\bar{F}$.

С урахуванням (1.26) задача (1.42) виглядатиме так:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{F} - \bar{F}_0}{1 - \bar{F}_0} \cdot \frac{S_m}{S} &\xrightarrow{\Delta F} \max, \\ S &= S_g \end{aligned} \quad (1.43)$$

де S_m – витрати на отримання ефекту.

Оптимальне значення вектора стану системи визначається за формулою:

$$\tilde{\bar{F}} = \bar{F}_0 + \left(\frac{S_g}{a} \right)^{\frac{1}{\beta}}. \quad (1.44)$$

1.4 Модель оптимізації обсягів робіт зі зниження витрат палива і кількості викидів, що забруднюють атмосферу

Задача системної оптимізації робіт із переведення системи із стану $\bar{F}^0$ у стан $\bar{F}$ може бути подана у вигляді:

$$\sum_{i=1}^m b\left(\frac{x_i}{\tilde{x}_i}\right)^{\beta_1+1} \xrightarrow{\left(\frac{x_i}{\tilde{x}_i}\right)} \min, \quad (1.45)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{x_i}{\tilde{x}_i} = R_3.$$

Оптимальний обсяг роботи з перетворення i -ої координати стану:

$$\left(\frac{x_i}{\tilde{x}_i}\right)_{i_{opt}} = \frac{R}{m}. \quad (1.46)$$

Заданий відносний обсяг робіт може бути визначений за формулою:

$$R_3 = \frac{(\tilde{\bar{F}} - \bar{F}_0)m}{1 - \bar{F}_0}, \quad (1.47)$$

де $\tilde{\bar{F}}$ – оптимальний вектор стану системи, що визначається за формулою (1.44).

Оптимальна i -та координата визначається за формулою:

$$f_{i_{opt}} = f_i^0 + \tilde{x}_i \frac{\tilde{\bar{F}} - \bar{F}_0}{(1 - \bar{F}_0)}. \quad (1.48)$$

1.5 Оцінка швидкостей руху та шкідливих викидів автомобілів на міських вулицях і автомобільних дорогах

Для кількісної оцінки параметрів взаємодії можна використовувати викиди в атмосферу забруднюючих речовин, що містяться у вихлопних газах автомобіля. Кількість шкідливих викидів автомобілів прямо пропорційна витратам палива [1, 33, 39, 40, 42, 44, 65–69]. Отже, оптимізація викидів одночасно є і оптимізацією витрат палива.

Витрати палива водночас із експлуатаційним станом автомобіля суттєво залежать від дорожніх факторів і організації дорожнього

руху. Ця залежність базується на впливі зазначених чинників на швидкість руху. Отже, під час оцінки кількості шкідливих викидів автомобілів необхідно визначити залежності швидкості руху від усієї сукупності факторів дорожнього середовища. Експлуатаційний стан автомобіля та його конструктивних характеристик вважатимемо незмінними.

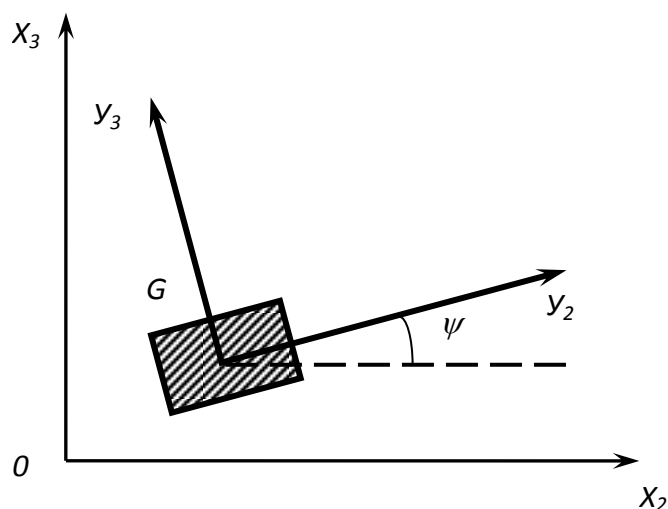
Практично всі математичні моделі руху автомобілів базуються на ньютонівській динаміці [41, 70–72], що зводиться до вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь, в структурі яких не відзначається вплив цілеспрямованої людської діяльності. До того ж, немає жодного сумніву, що рух автомобіля становить результат суб'єктивної цілеспрямованої діяльності. Продуктивною в цьому плані є модель Е. В. Гаврилова, в якій використовуються адитивні програмні сили і момент, що залежать від мотиваційних сил людини [73]:

$$\left. \begin{aligned} mx_2 &= F_{e2} + F_{n2}, \\ mx_3 &= F_{e3} + F_{n3}, \\ J\psi_k &= M_{e1} + M_{n1} \end{aligned} \right\}, \quad (1.49)$$

де m і J – маса і момент інерції автомобіля щодо осі y_1 , перпендикулярної до площини y_2y_3 (рис. 1.1);

F_{e2}, F_{e3}, M_{e1} – природні сили й момент;

F_{n2}, F_{n3}, M_{n1} – програмні сили й момент.



G – центр ваги; ψ_k – курсовий кут

Рисунок 1.1 – Розрахункова схема

Вирішення системи (1.49) дозволило Е. В. Гаврилову отримати формули, що описують залежності швидкості руху від конструктивних і експлуатаційних характеристик автомобіля, всієї сукупності дорожніх факторів і психологічних характеристик водія [52, 57]:

– у режимі розгону автомобіля:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}}{\delta m} (t - t_3)} + \left[\frac{F_{T0} - F_d}{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}} - V_{H3} \frac{\lambda_{2p} m_{2c}}{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}} \right] \times \\ \times \left(1 - e^{-\frac{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}}{\delta m} (t - t_3)} \right), \quad (1.50)$$

де V_{20} – швидкість руху за $t = t_3$;

t_3 – час запізнювання;

F_{T0} – початкове значення сили тяги;

F_d – сила опору руху на підйом;

δ – коефіцієнт урахування обертових мас;

m – маса системи «людина – автомобіль»;

V_{H3} – норма швидкості для мотиву свободи дій людини;

b_p, λ_{2p} – коефіцієнти розгону і гальмування;

m_{2c} – жорсткість цільової установки людини на досягнення швидкості, що дорівнює V_{H3} .

– у режимі гальмування з невід'єднаним двигуном:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_T - \lambda_{2T} m_{2\delta}}{\delta m} (t - t_3)} + \left[\frac{\lambda_{2T} m_{2\delta}}{b_T + \lambda_{2T} m_{2\delta}} V_{H2} - \frac{F_d}{b_T - \lambda_{2T} m_{2\delta}} \right] \times \\ \times \left(1 - e^{-\frac{b_T - \lambda_{2T} m_{2\delta}}{\delta m} (t - t_3)} \right), \quad (1.51)$$

де V_{H2} – норма швидкості для мотиву безпеки руху;

$m_{2\delta}$ – жорсткість цільової установки людини на досягнення швидкості, що дорівнює V_{H2} ;

b_T, λ_{2T} – коефіцієнти розгону і гальмування;

- у режимі гальмування з від'єднаним двигуном:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_{T1} - \lambda_{2T1} m_{2\delta}}{\delta_n m} (t - t_3)} + \left[\frac{\lambda_{2T1} m_{2\delta}}{b_{T1} + \lambda_{2T1} m_{2\delta}} V_K - \frac{F_d}{b_{T1} - \lambda_{2T1} m_{2\delta}} \right] \times \left(1 - e^{-\frac{b_{T1} + \lambda_{2T1} m_{2\delta}}{\delta_n m} (t - t_3)} \right), \quad (1.52)$$

де V_K – кінцева швидкість;

δ_n – коефіцієнт урахування обертових мас;

b_{T1} , λ_{2T1} – коефіцієнти розгону й гальмування;

- у режимі руху накатом:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_{T1}}{\delta_n m} (t - t_3)} - \frac{F_d}{b_{T1}} \left(1 - e^{-\frac{b_{T1}}{\delta_n m} (t - t_3)} \right). \quad (1.53)$$

Норму швидкості для мотиву свободи дій людини V_{H3} розраховують за формулою:

$$V_{H3} = a + bK_c + cK_c^2, \quad (1.54)$$

де a , b , c – коефіцієнти, що залежать від H_m (табл. 1.1);

K_c – коефіцієнт стохастичності, який визначають за формулою:

$$K_c = \frac{H}{Q}, \quad (1.55)$$

де H – поточна ентропія системи;

Q – абсолютна організація системи;

H_m – максимальна ентропія системи, що розраховується за формулою:

$$H_m = n^2, \quad (1.56)$$

де n – число об'єктів поля сприйняття водія.

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнтів a , b , c

H_m	a	b	c
49	106,33	-2,69	$6,19 \cdot 10^{-2}$
64	90,8	-1,5	0,09
81	80,91	0,54	0,017
100	102,14	-4,59	0,36
121	93,55	-0,72	0,0043
144	89,88	0,024	0,007
169	92,63	-2,05	0,14
196	89,1	-0,31	-0,077
225	84,92	3,38	-0,88
256	82,5	7,32	-2,52
289	98,18	-12,53	-1,1
324	49	31,75	-7,89
361	105,53	-22,78	-2,23
400	47,5	97,73	-65,4

Поточну ентропію H визначають так:

$$H = -n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i), \quad (1.57)$$

де P_i – сигнальне значення i -го об'єкта (табл. 1.2–1.5).

Абсолютну організацію системи розраховують за формулою:

$$Q = n^2 + n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i). \quad (1.58)$$

Норму швидкості для мотиву безпеки руху V_{H2} визначають за формулою:

$$V_{H2} = \frac{V_{H3}}{2} + \frac{V_{H3}}{2} \left(1 - \frac{H_{mo} - 36}{r} \right), \quad (1.59)$$

де H_{mo} – максимальна ентропія поля сприйняття водія за коефіцієнтом завантаження дороги $K_s = 0$;

Таблиця 1.2 – Залежності ймовірностей знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані від характеристик цих об'єктів (для міських умов руху)

Характеристика об'єкту	Зв'язок ймовірності P_i із характеристикою об'єкту	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації
1	2	3	4
Ширина проїжджої частини B_{np} , м	$P = 0,198e^{-0,087B_{np}} + 0,5$	0,9989	0,9978
Поздовжній ухил i , ‰	$P = 1,5 - (1 - 0,079)e^{-0,0036 i }$	0,9985	0,9965
Радіус кривої в плані R , м	$P = 0,624e^{-0,00736R} + 0,5$	0,9863	0,973
Різниця в ширині проїжджої частини доріг і мостів d , м	$P = 0,8325 - 0,209 d + 0,038d^2$	0,9899	0,97
Забудова біля проїжджої частини дороги на відстані Z , м	$P = 3,124 / Z + 0,595$	0,9961	0,9952
Відстань видимості дороги L_v : – у плані, м – у профілі, м	$P = 0,58 + 0,92e^{-0,0096L_v}$ $P = 0,58 + 0,92e^{-0,0074L_v}$	0,9976 0,998	0,998 0,9974
7. Тип перехрещення за інтенсивністю руху N , тис. авт./добу: – у різних рівнях – кільцеве – необладнане перехрещення – перехрещення зі світлофорним регулюванням – необладнане примикання – примикання зі світлофорним регулюванням	$P = 0,56$ $P = 0,6$ $P = 0,143e^{-0,022N} + 0,5$ $P = 0,098e^{-0,024N} + 0,5$ $P = 0,117e^{-0,022N} + 0,5$ $P = 0,079e^{-0,029N} + 0,5$	0,9878 0,994 0,9795 0,9717	0,9759 0,988 0,9595 0,944
8. Наземний пішохідний перехід за інтенсивністю руху пішоходів на перехрестях N_1 , тис. осіб/добу: – необладнане перехрещення – перехрещення зі світлофорним регулюванням – необладнане примикання	$P = 0,109e^{0,03N_1} + 0,5$ $P = 0,08e^{0,03N_1} + 0,5$ $P = 0,097e^{0,03N_1} + 0,5$	0,993 0,977 0,995	0,987 0,991 0,991

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
– примикання зі світлофорним регулюванням	$P = 0,071e^{0,26N_1} + 0,5$	0,9929	0,9859
9. Пішохідний перехід поза межами перехрестя за інтенсивністю руху пішоходів N_2 , тис. осіб/добу	$P = 0,571 + 0,015N_2$	0,998	0,996
10. Розташування тротуарів на відстані L_{mp} від проїжджої частини, м:	$P = 0,5 + 0,21e^{-0,06L_{mp}}$	0,997	0,995
– для вулиць зі зкупченням пішоходів	$P = 0,5 + 0,28e^{0,07L_{mp}}$	0,998	0,995

Таблиця 1.3 – Ймовірності знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані (для міських умов руху)

Назва об'єкту поля сприйняття	Чисельні характеристики об'єкту							
	Числові значення ймовірностей							
Стан покриття	слизьке (брудне, ожеледиця				P = 0,68			
	слизьке (мокре)				P = 0,64			
	сухе, чисте				P = 0,6			
	шорстке				P = 0,58			
Заборонний дорожній знак	P = 0,785							
Попереджувальний дорожній знак	P = 0,743							
Вказівний дорожній знак	P = 0,74							
Наказовий дорожній знак	P = 0,98							
Розмітка проїжджої частини:								
– осьова суцільна	P = 0,55							
– осьова пунктирна	P = 0,505							
– суцільна прикрайкова	P = 0,6							
Розташування трамвайної колії	на відокремленому полотні				P = 0,65			
	на загальному полотні біля краю вулиці				P = 0,75			
	на загальному полотні в середині вулиці				P = 0,85			
Число смуг руху	1	2	3	4	2	3	4	6
Рух	односторонній				двосторонній			
– за інтенсивністю до 15 тис. авт./добу	0,65	0,615	0,56	-	0,65	0,61	0,58	0,56
– за інтенсивністю більше 15 тис. авт./добу	0,685	0,65	0,6	0,55	0,69	0,65	0,6	0,58
Розташування зупиночного пункту:	Кількість смуг							
– в кармані:	1	2	3	4	5			
▪ під час двостороннього руху	-	0,66	0,61	0,6	0,56			
▪ під час одностороннього руху	0,67	0,66	0,63	-	-			
– біля бортового каменя:								
▪ під час двостороннього руху	-	0,72	0,69	0,66	0,63			
▪ під час одностороннього руху	0,73	0,72	0,65	0,6	0,58			
Дерево на узбіччі	для вантажних автомобілів				P = 0,71			
	для легкових автомобілів				P = 0,796			
Діти на узбіччі	P = 0,885							
Людина на узбіччі	P = 0,785							
Люди на узбіччі	P = 0,87							
Обгін мотоцикла чи велосипеда	P = 0,825							
Зустрічний мотоцикл чи велосипед	P = 0,8							
Зустрічний вантажний автомобіль, автобус	P = 0,714							
Зустрічний легковий автомобіль	P = 0,6715							
Обгін автомобіля	P = 0,78							
Ходову лабораторію обганяє транспортний засіб	P = 0,9							

Таблиця 1.4 – Залежності ймовірностей знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані від характеристик цих об'єктів (для замських умов руху згідно з Е. В. Гавриловим [52])

Характеристика об'єкту	Зв'язок ймовірності P_i із характеристикою об'єкта	Коефіцієнт кореляції
Ширина проїжджої частини B_{np} , м:		
– при укріплених узбіччях	$P = 0,010B_{np}^2 - 0,164B_{np} + 0,751$	0,999
– при неукріплених узбіччях	$P = 3,954B_{np}^{-1,56}$	0,986
Ширина узбіччя b , м	$P = -0,06\ln(b) + 0,170$	0,996
Поздовжній ухил i , ‰:		
– без поділу руху	$P = 0,155\ln(i) + 0,376$	0,963
– з поділом руху	$P = 0,084e^{0,007i}$	0,972
Радіус кривої в плані R , м	$P = 8,879R^{-0,62}$	0,916
Різниця в ширині проїжджої частини доріг і мостів d , м	$P = 0,037d^2 - 0,1725d + 0,292$	0,998
Довжина прямих ділянок L_{nd} , км	$P = 0,004L_{nd} + 0,088$	0,985
Тип перехрещення:		
– у різних рівнях	$P = 0,035$	
– в одному рівні за інтенсивністю руху на дорозі, з якою перехрещується (у % від сумарної на двох дорогах, x)	$P = 0,361\ln(x) - 0,680$	0,999
Видимість перехрещення з дороги, що примикає L_{e1} , м	$P = 38,30L_{e1}^{-1,53}$	0,813
Забудова біля проїжджої частини дороги на відстані Z , м	$P = 0,003Z^2 - 0,113Z + 1,289$	0,987
Відстань видимості дороги L_{e2} :		
– у плані, м	$P = -0,10\ln(L_{e2}) + 0,774$	0,966
– у профілі, м	$P = -0,16\ln(L_{e2}) + 1,124$	0,972
Перехрещення в одному рівні за інтенсивністю руху на головній дорозі N , тис. авт./добу	$P = 0,121e^{0,0001N}$	0,975

Таблиця 1.5 – Ймовірності знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані (для замських умов руху згідно з Е. В. Гавриловим [52])

Назва об'єкту поля сприйняття	Чисельні характеристики об'єкту			
	Числові значення ймовірностей			
Стан покриття	слизьке (брудне, ожеледиця)		P = 0,25	
	слизьке (мокре)		P = 0,20	
	сухе, чисте		P = 0,13	
	шорстке		P = 0,10	
	дуже шорстке		P=0,075	
Заборонний дорожній знак	P = 0,285			
Попереджувальний дорожній знак	P = 0,243			
Вказівний дорожній знак	P = 0,24			
Наказовий дорожній знак	P = 0,48			
Число смуг руху	2-3	4 без розділової смуги	4 з розділової смугою	4 з перехрещеннями в різних рівнях
	P=0,10	P=0,15	P=0,065	P=0,035
Діти на узбіччі	P = 0,385			
Людина на узбіччі	P = 0,285			
Обгін мотоцикла чи велосипеда	P = 0,325			
Зустрічний мотоцикл чи велосипед	P = 0,300			
Зустрічний вантажний автомобіль, автобус	P = 0,214			
Зустрічний легковий автомобіль	P = 0,1715			
Обгін автомобіля	P = 0,28			
Ходову лабораторію обганяє транспортний засіб	P = 0,4			

$$r = H_{mk} - H_{mo}, \quad (1.60)$$

де H_{mk} – максимальна ентропія поля сприйняття водія за коефіцієнтом завантаження дороги, що дорівнює одиниці.

Витрати палива і кількість шкідливих викидів автомобілів можуть бути розраховані за формулами Н. Я. Говорущенко [74]:

$$Q_1 = \frac{1}{\eta_{mp}} \left[A i_k + B i_k^2 V + C \left(C_{1a} \psi + 0,077 k F_k V^2 + 0,18 C_{1a} \dot{V} \right) \right], \quad (1.61)$$

де Q_1 – витрати палива, т/рік, або кг/год, або г/с;
 ψ – коефіцієнт дорожнього опору;
 k – коефіцієнт опору повітря, Нс²м⁻⁴;
 F_k – лобова площа автомобіля, м²;
 V – швидкість руху автомобіля, м/с;
 $\dot{V}$ – прискорення, м/с²;
 δ – коефіцієнт урахування обертових мас.

$$A = \frac{7,95aV_n i_0}{H_H \rho_n r_k}; \quad B = \frac{0,69bV_n S_n i_0}{H_H \rho_n r_k^2}; \quad C = \frac{100}{H_H \rho_n \eta_{mp}};$$

де V_n – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;
 H_H – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг ($H_H = 44000$ кДж/кг – для бензину, $H_H = 43000$ кДж/кг – для дизельного палива);
 ρ_n – щільність палива, г/см³ $\rho_n = 0,740$ – для бензину, $\rho_n = 0,825$ – для дизельного палива);
 S_n – хід поршня, м;
 i_k – передаточне число коробки передач;
 i_0 – передаточне число головної передачі;
 η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії $\eta_{mp} = 0,875$ – для автомобіля з одним провідним мостом, $\eta_{mp} = 0,825$ – для автомобіля з двома провідними мостами);
 a, b – постійні коефіцієнти ($a = 48$ кПа – для дизелів, $b = 16$ кПа – для дизелів, $a = 45$ кПа·см⁻¹ – для карбюраторних двигунів, $b = 13$ кПа см⁻¹ – для карбюраторних двигунів, a_k дорівнює від 0,03 до 0,05 – для легкових автомобілів, a_k дорівнює від 0,05 до 0,07 – для вантажних автомобілів).

Знаючи витрати палива можна визначити викиди шкідливих речовин:

$$M_i = 0,0548 M_x \rho_n X_i Q_1 \tau, \quad (1.62)$$

де M_i – викид шкідливих речовин, г/км;
 M_x – молекулярна маса токсичних речовин, г/моль;
 X_i – вміст шкідливих речовин, %;

τ – коефіцієнт надлишку повітря.

Підставляючи чисельні значення M_x у формулу (1.61) можна отримати такі залежності для визначення викидів різних речовин в атмосферу:

Для CO:

$$M_{CO} = 1,53\rho_n X_{CO} Q_1 \tau, \quad (1.63)$$

де

$$X_{CO} = 61,3 - 144\tau + 53\tau^2.$$

Для NO:

$$M_{NO} = 1,64\rho_n X_{NO} Q_1 \tau, \quad (1.64)$$

де

$$X_{NO} = -3,67 + 7,88\tau - 3,88\tau^2.$$

Для NO₂:

$$M_{NO_2} = 2,52\rho_n X_{NO_2} Q_1 \tau, \quad (1.65)$$

де

$$X_{NO_2} = -3,67 + 7,88\tau - 3,88\tau^2.$$

Для C₆H₁₄:

$$M_{C_6H_{14}} = 4,7\rho_n X_{C_6H_{14}} Q_1 \tau, \quad (1.66)$$

де

$$X_{C_6H_{14}} = 0,922 - 1,677\tau + 0,77\tau^2.$$

Запропонований метод зниження витрат палива і викидів забруднюючих речовин на відміну від існуючих заснований на системній оптимізації. Він може бути використаний для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи «дорога – навколишнє природне середовище».

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Розроблено комплексні, інтегративні критерії комплексної оптимізації заходів з економії енергоресурсів і зниження забруднення природного середовища автомобільним транспортом відповідно до вимог автомобілів, водіїв і пішоходів.

2. Запропоновано локальні показники адекватності системи «автомобіль – дорога» принципам функціонування екосистем: принципу найменшої взаємодії, принципу біологічної сумісності, принципу гомеостазису.

3. Розроблено теоретичну модель оптимізації показників стану системи «дорога – навколишнє природне середовище». Сформульовано локальне правило управління координатами стану системи. Запропонований метод зниження витрат палива і викидів забруднюючих речовин на відміну від існуючих заснований на системній оптимізації і може бути використаний для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи «дорога – навколишнє природне середовище».

4. Розроблено теоретичну модель оптимізації обсягів робіт з удосконалення елементів вулиць і доріг, що забезпечують зниження витрат палива та кількості викидів забруднюючих атмосферу речовин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гутаревич Ю. Ф. Пути снижения вредных выбросов автомобилями в атмосферу / Ю. Ф. Гутаревич, К. Е. Долганов. – Киев: Общество «Знание», 1980. – 24 с.

2. Миронов А. А. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды / А. А. Миронов, И. Е. Евгеньев. – Томск: изд-во Томского университета, 1986. – 284 с.

3. Евгеньев И. Е. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог / И. Е. Евгеньев, В. В. Савин. – М.: Транспорт, 1989. – 239с.

4. Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування: ДБН А.2.2-1-2003. – [Чинний від 2004-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 131 с. – (Національний стандарт України).

5. Beria P. Construction of mini fuel oil Plant capacity 300 thousand tons year. [Електронний ресурс] / Tbilisi, Georgia : «UTA» company, 2002. – 41 р. – Режим доступу: <http://utacompany.ge/images/pro2/4.pdf>.

6. Hot Mix Asphalt Plants Emission Assessment Report [Электронный ресурс]. U.S. Environmental Protection Agency. North Carolina, 2000. – 46 p. – Режим доступа: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/related/ea-report.pdf>.
7. Pollution control systems of asphalt plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://blog.atlasindustries.in/pollution-control-asphalt-plant/>.
8. What is Air pollution? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-of-air-pollution.php>.
9. Mehraj S. S. Cement Factories, Air pollution on and Consequences [Электронный ресурс] / S. S. Mehraj, G. A. BHAT // New York, USA, 2013. – 65 p. – Режим доступа: http://www.sciencepub.net/book/00065_book_1_65.pdf
10. Abimbola A. F. The sagamu cement factory, SW Nigeria: Is the dust generated a potential health hazard / A. F. Abimbola, P. O. Kehinde, A. S. Olatunji // Environ. Geochem. Health, 2007. – № 26. – P. 163–167.
11. Adak M. D. Ambient air quality and health hazards near min-cement plants / M. D. Adak, S. Adak, K. M. Purohit // Pollution Research, 2007. – 26(3). – P. 361–364.
12. Armolaitis K. E. Influence of cement mill emission on physico-chemical properties of forest soils near the mill / K. E. Armolaitis, M. V. Vaichis, L. Kuchialaricheno, A. O. Raguotis // Europ. Soil Scien, 1996. – 28. – P. 212–220.
13. Asubiojo O. I Effects of cement production on the elemental composition of soils in the neighbourhood of two cement factories / O. I. Asubiojo, P. O. Aina, A. F. Oluwole, W. Arshed, O. A. Akanle, N. M. Spyrou // Water Air Soil Pollut., 1991. – P. 819–828.
14. Chaney R. L. In Proc. Symp. Heavy Metals in Urban soils / R. L. Chaney, S. B. Strrett, H. N. Mickle (ed. Preer, J.R.) // Univ. Dist. Columbia, Washington, 1984. – P. 37–84.
15. Орнатский Н. П. Автомобильные дороги и охрана природы / Н. П. Орнатский. – М.: Транспорт, 1982. – 176 с.
16. Хомяк Я. В. Автомобильные дороги и окружающая среда / Я. В. Хомяк, В. Ф. Скорченко. – Київ: Вища школа, 1983. – 159 с.
17. Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: dispersal mechanisms, pathways and mitigation measures. RO-97-SC.1027. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200310/polmitrep.pdf>.

18. Amrhein C. Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils / C. Amrhein, J. E. Strong, P. A. Mosher // *Environmental Science and Technology* 26, 1992. – P. 703–709.

19. Armstrong L. J. Contribution of heavy metals to storm water from automotive disc brake pad wear / L. J. Armstrong // Report for Santa Clara Valley Nonpoint Source Pollution Control Program, Woodward-Clyde Consultants, Oakland, California. 1994. – P. 1–37.

20. Ball D. The influence of highway related pollutants on environmental quality / D. Ball, R. Hamilton, R. Harrison // *Highway Pollution*. Elsevier Science Publishing Company, Inc., New York, 1991. – P. 1–47.

21. Gjessing E, Effect of highway runoff on lake water quality / E. Gjessing, E. Lygren, L. Berglind, T. Gulbrandsen, R. Skaane // *Science of the Total Environment* 33, 1984. – P. 245–257.

22. Линник І. Е. Оцінка та прогнозування екологічного стану дорожнього господарства: монографія / І. Е. Линник; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 144 с.

23. Линник І. Е. Прогнозування викидів шкідливих речовин на виробничих базах дорожнього господарства / І. Е. Линник // *Комунальне господарство міст: [наук.-техн. зб.]*. – Харків: ХНУМГ. – 2014. – Вип. 118. – С. 120–124.

24. Линник І. Е. Прогнозування екологічного стану ґрунтів та джерел води уздовж автомобільних доріг / І. Е. Линник // *Комунальне господарство міст: [наук.-техн. зб.]*. – Харків: ХНУМГ. – 2014. – Вип. 116. – С. 75–80.

25. Линник І. Е. Прогнозування екологічного стану автомобільних доріг / І. Е. Линник. // *Містобудування та територіальне планування: [наук.-техн. зб.]*. – Київ. – 2014. – Вип. 53. – С. 288–296.

26. Методика розрахунку впливу викидів автомобільного транспорту на забруднення повітря міст України: метод. рекомендації / Київ, 1993. – 25 с.

27. Линник И. Э. Оценка экологической безопасности автомобильных дорог / И. Э. Линник, А. Л. Шаповалов // *Вестник ХГАДТУ: сб. науч. тр.* – Харьков. – 2000. – Вып. 12–13. – С. 170–173.

28. Линник И. Э. Оценка рассеивания загрязняющих атмосферу веществ с учетом влияния застройки / И. Э. Линник // Вестник ХГАДТУ : сб. науч. тр. – Харьков. – 1997. – Вып. 6. – С. 31–33.

29. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз : ГСТУ 218-02071168-096-2003. – [Чинний від 2004–01–01]. – К.: Укравтодор, 2003. – 48 с.

30. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України за станом на 1994-02-25 р. – Електронні текстові дані. – Режим доступу :

http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T126400.html

31. Планування і забудова територій : ДБН Б.2.2–12:2019. – Чинний від 2019-04-26. – К.: Мінрегіон України, 2019. – 177 с. – (Державні будівельні норми України).

32. Торov В. С. Оптимизация параметров карьерных автомобильных дорог / В. С. Торov // Проблемы транспортных рудных карьеров : труды ИГД. – Свердловск. – 1981. – Вып. 66. – С. 36–48.

33. Белятынский А. А. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономических энергоресурсов / А. А. Белятынский, Л. В. Василенко, А. М. Романюха. – К.: Будівельник, 1990. – 104 с.

34. Сегеркранц В. М. Принципы проектирования автомобильных дорог с учетом требований экономии топлива / В. М. Сегеркранц // Проектирование и строительство автомобильных дорог и городских улиц с учетом интенсивной автомобилизации ЭССР : сб. науч. тр. – Таллин, 1982. – С. 17–18.

35. Вопросы психофизиологии человека на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, Н. В. Борисюк, С. А. Елисеева, В. Н. Сытник. – М.: Высшая школа, 1973. – 307 с.

36. Иванов В. Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива/ В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Автомобильные дороги : науч. журн. – 1982. – № 8. – С. 10–13.

37. Васильев М. В. Источники экономии топливно-энергетических ресурсов на карьерном транспорте / М. В. Васильев // Горный журнал. – 1986. – № 4. – С. 18–21.

38. Гутаревич Ю. Ф. К определению массового выброса окиси углерода автомобилями в дорожных условиях / Ю. Ф. Гутаревич, В. Ф. Скорченко // Автомобильные дороги и дорожное строительство: науч. журн. – 1982. – № 31. – С. 112–116.

39. Гутаревич Ю. Ф. Определение токсичных выбросов автомобиля графическим способом / Ю. Ф. Гутаревич // Автомобильный транспорт : науч. журн. – 1980. – № 11. – С. 55–56.
40. Гутаревич Ю. Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей / Ю. Ф. Гутаревич. – К.: Урожай. – С. 89–224.
41. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю. Ф. Гутаревич. – К. : Вища школа, 1991. – 179 с.
42. Худолий Н. Н. Определение массы токсических компонентов в отработавших газах бензинового двигателя по их концентрации и расходу топлива / Н. Н. Худолий, Ю. Ф. Гутаревич, С. А. Лигай // Двигатели внутреннего сгорания : науч. журн. – 1979. – Вып. 29. – С. 67–70.
43. Миронов А. А. Теоретические основы охраны окружающей среды при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог / А. А. Миронов // Исследование транспортных сооружений : сб. статей / [Под ред. В. В. Сибера]. – Томск: Томский государственный университет, 1982. – С. 69–75.
44. Дьяков А. Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А. Б. Дьяков, Ю. В. Игнатьев, Е. П. Коншин ; [под ред. А. Б. Дьякова]. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
45. Белозеров В. И. Расчет расхода горючего карьерным автотранспортом / В. И. Белозеров // Технологические процессы открытых горных работ и их совершенствование: науч. тр. ИГД им. А. А. Скочинского. – 1982. – Вып. 3. – С. 59–63.
46. Сегеркранц В. М. Прогнозирование режимов движения транспортных потоков при проектировании автомобильных дорог : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : спец. 05.22.03 – «изыскание и проектирование железных дорог и автомобильных дорог» / В. М. Сегеркранц. – Таллин, 1984. – 36 с.
47. Сегеркранц В. М. Исследование свойств транспортного потока при проектировании режимов скоростей / В. М. Сегеркранц // Труды Таллинского политехнического института. – Таллин. – 1979. – № 470. – С. 3–15.
48. Бакулич Е. А. Усовершенствование методов разработки схем организации дорожного движения с учетом уровня экологических характеристик : автореф. дис. ... канд. техн. наук :

спец. 05.22.01 – «транспортные системы» / Е. А. Бакулич. – Киев, 1994. – 22 с.

49. Управление дорожным движением : пер. с англ. / Х. Иноса, Т. Хамада и др. ; [под ред. М. Я. Блинкина]. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.

50. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход : пер. с польск. / Я. Дитрих. – Москва : Мир, 1981. – 456 с.

51. Геллер Е. С. Человек, биосфера и научно-технический прогресс / Е. С. Геллер, И. Б. Новик // Методологические вопросы биокibernетики : науч. журн. – М., 1974. – С. 176–191.

52. Гаврилов Э. В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: дис. ... д-ра. техн. наук : 05.22.10 «эксплуатация автомобильного транспорта» / Э. В. Гаврилов. – Киев, 1992. – 450 с.

53. Гаврилов Э. В. Учет человеческого фактора при проектировании дорог и организации дорожного движения / Э. В. Гаврилов, В. А. Багаева, В. В. Туманов. – Киев : УМК ВО Минвуза УССР, 1988. – 76 с.

54. Гаврилов Э. В. Разработка принципов и критериев экологического проектирования автомобильных дорог / Э. В. Гаврилов, А. Л. Шаповалов // Экологическое проектирование автомобильных дорог : сб. тр. Харьк. автомоб.-дор. ин-та. – Харьков, 1987. – С. 2–8. – Деп. в ЦБНТИ Минавтодора РСФСР 20.03.87, № 136-ад87.

55. Ряпухин В. Н. Обоснование критериев экологического проектирования сетей автомобильных дорог в районах интенсивного земледелия / В. Н. Ряпухин, Э. В. Гаврилов // Экологическое проектирование автомобильных дорог : сб. тр. Харьк. автомоб.-дор. ин-та. – Харьков, 1987. – С. 9–22. – Деп. в ЦБНТИ Минавтодора РСФСР 20.03.87, № 136-ад87.

56. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Р. В. Малов, В. И. Ерохов и др. – М. : Транспорт, 1982. – 200 с.

57. Гаврилов Э. В. Разработка эргономических норм и требований, предъявленных к качеству автомобильных дорог / Э. В. Гаврилов // Материалы VI Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. – М. : СоюздорНИИ, 1976. – Вып. I. – С. 72–76.

58. Иванов В. Н. Кибернетика на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, А. А. Гаврилов, Н. И. Оханкин. – М.: Высшая школа, 1971. – 124 с.
59. Иванов В. Н. Техническое состояние автомобиля и токсичность двигателя / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Автомобильный транспорт : науч. журн. – 1981. – № 5. – С. 39–41.
60. Иванов В. Н. Экологические проблемы развитой автомобилизации / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Повышение эффективности мероприятий по снижению вредных воздействий от автомобильного транспорта : сб. науч. тр. – М., 1982. – С. 5–18.
61. Иванов В. Н. Экономия топлива на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов. – М.: Транспорт, 1984. – 302 с.
62. Коренев Г. В. Очерки механики целенаправленного движения / Г. В. Коренев. – Москва : Наука, 1980. – 192 с.
63. Коренев Г. В. Цель и приспособляемость движения / Г. В. Коренев. – М.: Наука, 1974. – 528 с.
64. Шамис А. Л. Подход к построению формальной модели поведения / А. Л. Шамис, Б. Ю. Левит // Механизмы и принципы целенаправленного поведения : сб. науч. тр. – М.: Наука, 1972. – С. 34–49.
65. Говорун А. Г. Транспорт і навколишнє середовище / А. Г. Говорун, В. Ф. Скорченко, М. М. Худолій. – К.: Урожай, 1992. – 144 с.
66. Дьяков А. Б. Экологическая безопасность автомобиля : [учеб. пособ. для вузов по специальности «Орг. дор. движения» и «Эксплуатация автомоб. трансп.»] / А. Б. Дьяков, В. Н. Вздыхалкин, А. В. Рузский. – М.: МАДИ, 1984. – 218 с.
67. Климуш О. Д. Экономия топлива на автомобильном транспорте / О. Д. Климуш, В. А. Рубцов, Ю. Ф. Гутаревич. – К.: Техника, 1988. – 144 с.
68. Снижение токсичности выбросов при эксплуатации автомобиля / Ю. Ф. Гутаревич, О. Д. Климуш, Н. Н. Худолій, В. И. Гдыря. – К.: Техника, 1981. – 88 с.
69. Худолій Н. Н. Численное моделирование эксплуатационных характеристик топливной экономичности и токсичности бензиновых двигателей ЗИЛ-130 / Н. Н. Худолій // Двигателестроение : науч. журн. – 1981. – № 31. – С. 112–116.

70. Безбородова Г. Б. Экономия топлива при вождении автомобиля / Г. Б. Безбородова, Н. М. Маяк, А. А. Чалый. – К.: Техника, 1986. – 112 с.
71. Безбородова Г. В. Моделирование движения автомобиля / Г. В. Безбородова, В. Г. Галушко. – К.: Вища школа, 1978. – 168 с.
72. Филиппов В. В. Моделирование на ЭВМ движения автомобильных потоков при проектировании дорог / В. В. Филиппов. – К.: КАДИ, 1984. – 36 с.
73. Гаврилов Э. В. Системное проектирование автомобильных дорог : учеб. пособ. / Э. В. Гаврилов, А. М. Гридчин, В. Н. Ряпухин. – Москва–Белгород : Изд.-во АСВ, 1998. – Ч. I. – 138 с.
74. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н. Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.

Транспорт, який рухається вулицями сучасних міст, відіграє важливу роль у житті міста завдяки здійсненню пасажирських і вантажних перевезень та обумовлює розвиток інших галузей економіки регіону. В теперішній час спостерігається стійка тенденція до збільшення кількості транспортних засобів, які рухаються вулицями м. Харкова. Збільшення рівня автомобілізації викликає підвищення шкідливого впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Сумарне екологічне забруднення, яке здійснюється автотранспортними засобами, в загальному вигляді формується інгредієнтним забрудненням повітря, що утворюється з викидів відпрацьованих газів автотранспортних засобів, а також параметричним забрудненням, що полягає в акустичному випромінюванні на примагістральну територію.

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю зниження шкідливого впливу автомобільних доріг на примагістральну територію, з метою зниження екологічного навантаження на зону житлової забудови, а також з метою захисту здоров'я її мешканців та підвищення рівня життя в цілому.

Мета роботи полягає у дослідженні інгредієнтно-параметричного забруднення придорожньої території міської вулиці від роботи автомобільного транспорту та обґрунтуванні параметрів шумозахисного бар'єру для захисту сельбищної території.

До основних задач, що вирішуються в роботі, відносяться:

- аналіз та оцінка впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище;
- моделювання інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного простору;
- обґрунтування параметрів інженерної конструкції для захисту сельбищної території.

Результати досліджень дозволяють оцінити міру техногенного впливу інгредієнтно-параметричного забруднення при експлуатації автомагістралі на стан навколишнього середовища на прикладі міської дороги м. Харкова, що дає можливість обґрунтовано

пропонувати природоохоронні заходи, які забезпечать екологічну безпеку при роботі автотранспортного комплексу.

2.1 Аналіз та оцінка впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище

Транспортно-дорожній комплекс є найважливішим складовим елементом економіки будь-якої країни. Однак функціонування автотранспорту супроводжується значним негативним впливом на природу. Внесок транспорту в її забруднення доцільно оцінювати в зіставленні з іншими галузями господарства за всіма компонентами екосистем: атмосфера, вода, ґрунт, рослинний і тваринний світ.

Автомобільний транспорт – один з основних забруднювачів атмосферного повітря. Його частка в загальному обсязі викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних і пересувних джерел складає близько 40 %, що вище ніж частка кожної з галузей промисловості. На другому місці за величиною викидів в атмосферу знаходиться енергетика, потім кольорова, чорна металургія, далі йдуть нафтовидобувна, нафтопереробна промисловість, машинобудування, газова промисловість та інші галузі. За видами транспорту викиди забруднюючих речовин розподіляються: 87 % загального викиду приходить на автомобільний транспорт, близько 8 % – на залізничний, 2 % – на дорожній комплекс, більш 1 % – на повітряний транспорт і 2 % – на річковий і морський [1].

Рівень автомобілізації вважається одним з головних показників економічного і соціального розвитку суспільства. У розвинутих країнах в автомобілебудуванні, у дорожньому будівництві беруть участь різні області промисловості і сфери послуг. Однак, прагнучи до збільшення кількості автомобілів і довжини доріг, не можна забувати, що автомобільний транспорт дає близько третини забруднень атмосфери, а в містах – до 3/4 від їх загальної кількості [2]. Майже половина населення страждає від транспортного шуму. Дороги займають територію, скорочують розміри природних екологічних комплексів. Щоб розібратися у складних взаєминах автомобільного транспорту з навколишнім середовищем, корисно застосувати системний метод аналізу зв'язків між залежними об'єктами і факторами, що визначають їх стан. У спрощеному вигляді система автомобільний транспорт (автотранспортні засоби +

автомобільні дороги) – навколишнє середовище подана на рис. 2.1.

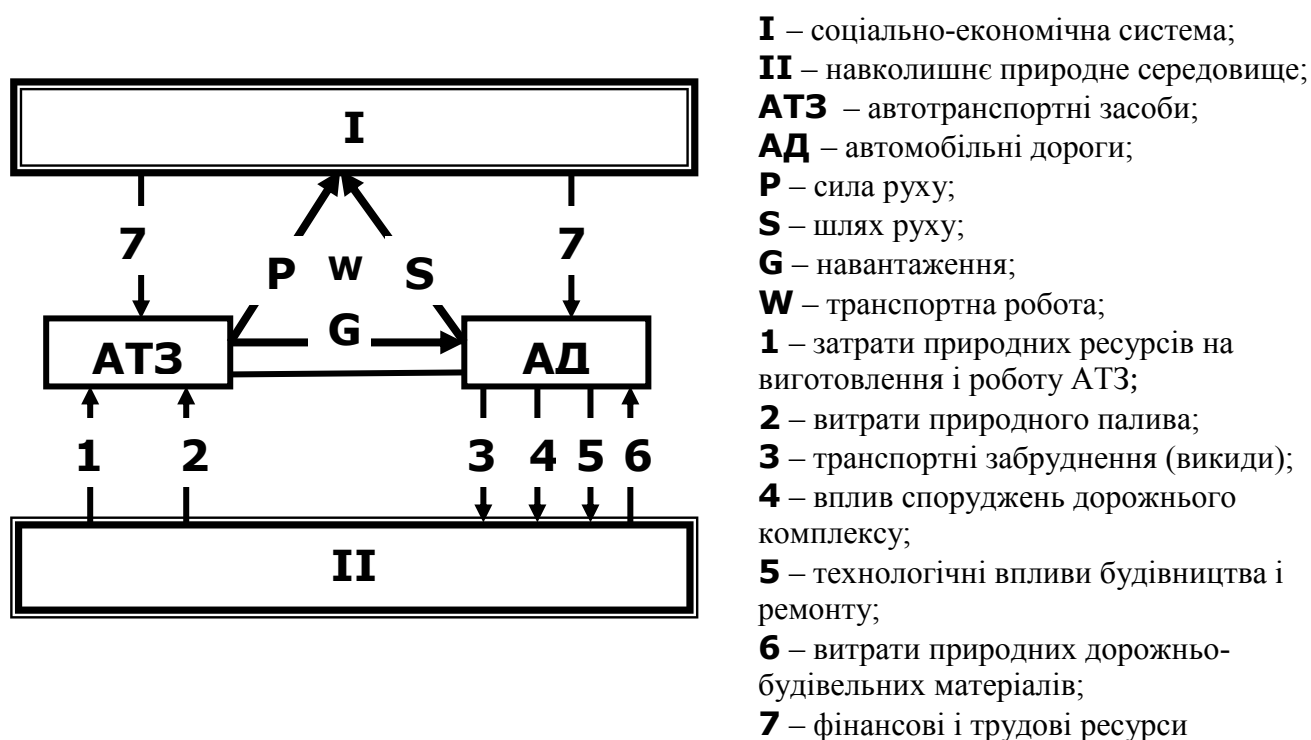


Рисунок 2.1 – Модель взаємодії автомобільно-дорожнього комплексу з навколишнім середовищем

Вплив транспорту на екосистеми проявляється:

- у забрудненні атмосфери, водних об'єктів і земель, зміні хімічного складу ґрунтів і мікрофлори, утворенні виробничих відходів і сміття. Забруднюючі речовини негативно впливають на створені людиною системи, особливо на будівельні матеріали, історичні архітектурні і скульптурні пам'ятники та інші твори мистецтва, викликають корозію металів;

- у споживанні природних ресурсів – атмосферного повітря, яке необхідне для протікання робочих процесів у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) транспортних засобів; нафтопродуктів і природного газу, що є паливом для ДВЗ; води для систем охолодження ДВЗ і мийки транспортних засобів, виробничих і побутових потреб підприємств транспорту; земельних ресурсів, що відводяться під будівництво автомобільних доріг та інших об'єктів автотранспортного комплексу;

- у виділенні тепла в навколишнє середовище при роботі ДВЗ і паливоспалюючих установок у транспортних виробництвах;

- у створенні високих рівнів шуму і вібрації;

- у можливості активізації несприятливих природних процесів типу водної ерозії, заболочування місцевості, утворення селевих потоків, зсувів, обвалів;
- у травматизмі та гибелі людей, тварин, нанесенні великого матеріального збитку при аваріях і катастрофах;
- у руйнуванні ґрунтово-рослинного покриву і зменшенні врожайності сільськогосподарських культур.

Діяльність транспортних підприємств пов'язана зі здійсненням перевізного процесу, навантажувально-розвантажувальних операцій, збереженням вантажів і виконанням робіт з технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів і шляхів сполучення.

Вплив транспорту на навколишнє середовище виявляється насамперед у процесі перевезень, при якому споживаються у великій кількості паливно-енергетичні ресурси і відбувається значне виділення забруднюючих речовин. Основними споживачами природних ресурсів і забруднювачами навколишнього середовища є транспортні засоби.

При будівництві і ремонті автомобільних доріг, а також виробничо-побутових об'єктів підприємств транспорту відбувається вилучення з екосистем води, ґрунту, родючих ґрунтів, мінеральних ресурсів надр, руйнування природних ландшафтів, втручання у тваринний і рослинний світ.

2.2 Моделювання інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного простору

Сучасні умови життєдіяльності людини в значних містах характеризуються збільшенням впливу шкідливих факторів зовнішнього середовища, які утворюються в зоні впливу автомобільної дороги. Це негативно позначається на стані здоров'я мешканців, підвищує загальний рівень захворюваності та погіршує якість життя в цілому.

Дослідження проводили в послідовності, що представлена на рис. 2.2.

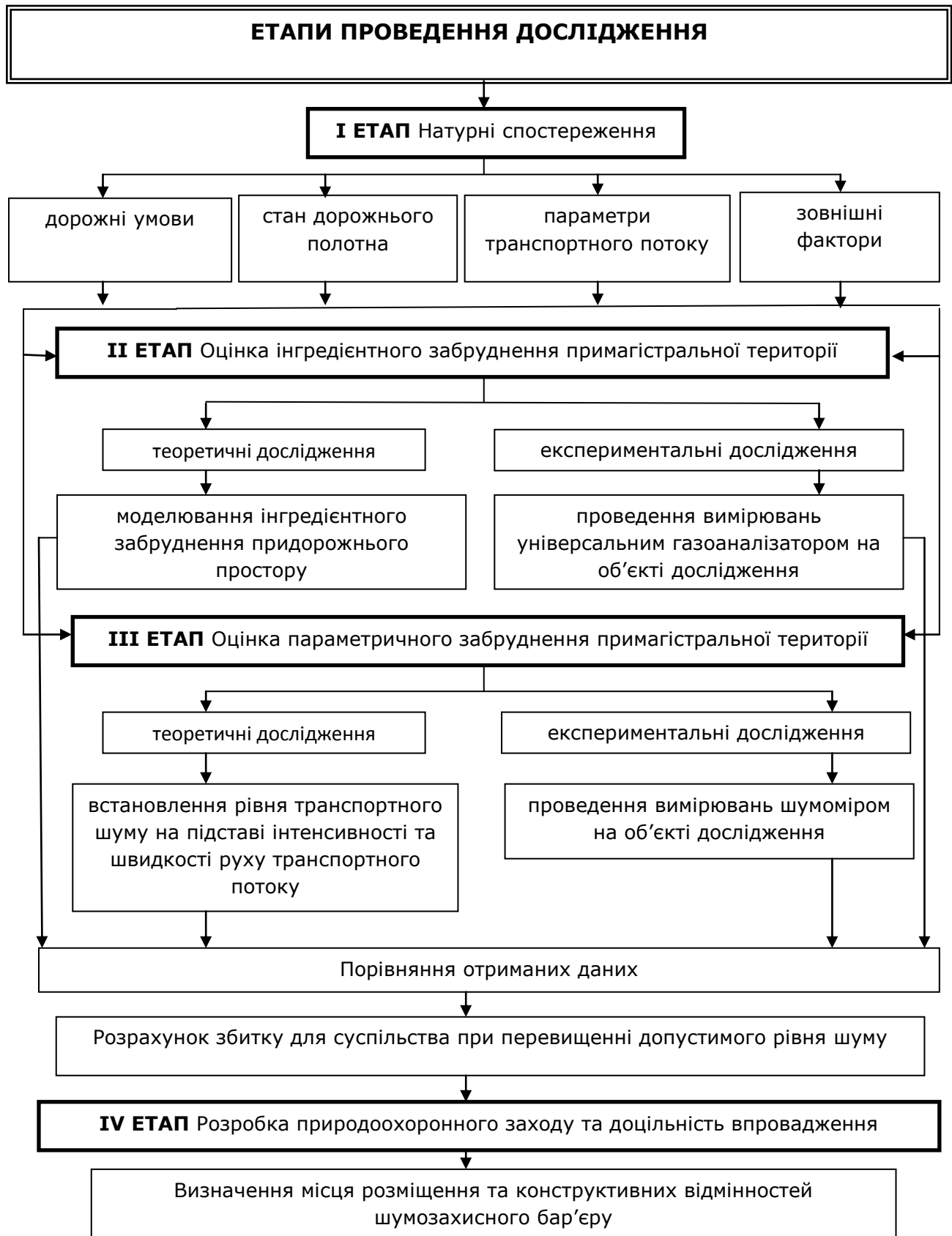


Рисунок 2.2 – Етапи проведення дослідження

Для оцінки впливу автотранспорту на приміагістральну територію була обрана типова ділянка в сельбищній зоні міста Харкова. Дослідження проводилися на території Московського району, ділянка вулиці Академіка Павлова, що обмежена вулицями Валентинівська та Владислава Зубенка (рис. 2.3).

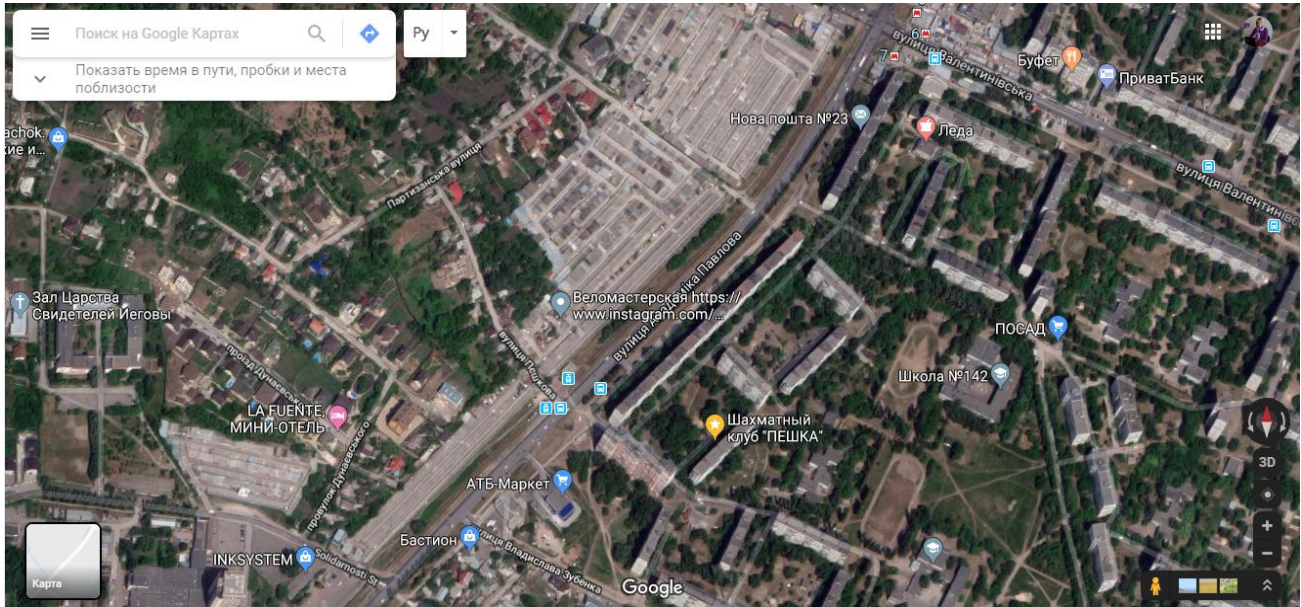


Рисунок 2.3 – Фрагмент карти м. Харкова з ділянкою дороги, що досліджується (вул. Академіка Павлова)

На I етапі дослідження, відповідно до рис. 2.2, для вулиці визначили дорожні умови, а саме: ширину дорожнього полотна і тротуарів, наявність або відсутність газонів і дерев, характер забудови (мало- або багатоповерхова), вивчили основну територію усередині мікрорайону (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристика об'єкту дослідження

Ділянка	Показник	Характеристика
вул. Академіка Павлова	поздовжній ухил на перегоні, ‰	0
	покриття	асфальтобетон
	кількість смуг руху	4 з розділовою смугою
	відстань від забудови до проїжджої частини, м	40-50
	довжина перегону, м	750

Спостереження за інтенсивністю руху автотранспорту проводилися в різний час доби в ранкові, денні і вечірні години по 20

хвилин кожного тимчасового інтервалу протягом 3 днів у будні, після чого розраховувалося середнє арифметичне число проїжджаючих автомобілів у годину через кожен пункт спостереження. Такі ж розрахунки зроблені і для вихідного дня. Окремо вівся підрахунок легкових, легких вантажних, середніх вантажних, важких вантажних автомобілів, трамваїв і автобусів [2]. В узагальненому вигляді результати досліджень наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати спостережень за інтенсивністю і складом транспортного потоку на локальній ділянці території м. Харкова

Назва вулиці		Середня інтенсивність руху, авт./год					
		легкові	легкі вантажні	середні вантажні	важкі вантажні	автобуси, тролейбуси, трамваї	усього
вул. Академіка Павлова	ранок	1520	102	31	18	29	1700
	день	1220	113	48	15	32	1428
	вечір	1810	121	15	7	27	1980
	середнє значення	1517	112	31	13	29	1702

З аналізу результатів спостережень можна зробити ряд висновків:

- основний внесок у транспортний потік вносить легковий транспорт, від 83 %. Кількість автобусів у відсотковому відношенні становить не більше 3 % від загальної кількості транспорту;
- інтенсивність руху приблизно однакова в зимовий і літній періоди року;
- у вихідні дні спостерігається зниження інтенсивності руху автотранспорту. У літній період кількість автомобілів у неділю становить 51-74 % від їхньої загальної кількості в будні, у зимовий період – 45-64 %;
- на вулиці найбільша інтенсивність транспорту фіксується в ранкові та вечірні години «пік» з поступовим спадом к вечору.

Теоретичне дослідження зміни концентрації шкідливих речовин, що формують автомобілі, в міру віддалення від автомобільної дороги по вул. Академіка Павлова (на ділянці від вул. Владислава Зубенка до

вул. Валентинівська) проводилося для автотранспортних потоків двох видів: з переважною кількістю легкових автомобілів (76 % легкових автомобілів, 19 % вантажних автомобілів, 5 % автобусів) та вантажних автомобілів і автобусів (22 % легкові автомобілі, 65 % вантажних автомобілів, 13 % автобусів) при різному куті φ між напрямом вітру та віссю дороги. Інтенсивність руху при цьому складала 1500-1900 авт./год в обох напрямках руху.

На II етапі для визначення концентрацій в приземному шарі атмосферного повітря на різній відстані від дороги таких шкідливих речовин як: діоксид азоту, діоксид сірки та сажа використовували модель Гаусівського розподілу домішок в атмосфері.

Розрахунок дотичної сили тяги.

Для більшої точності розрахунок дотичної сили тяги (F_k , Н) може бути проведений окремо для спуску, підйому і майданчику з урахуванням стану типу дорожнього полотна, швидкості руху і опору повітря за такою формулою:

$$F_k = G(f_0 + i + \varpi_\epsilon), \quad (2.1)$$

де G – вага автомобіля, Н;

f_0 – коефіцієнт опору тертя (характеризує тип і стан дорожнього полотна: для асфальтобетону $f_0 = 0,015 - 0,020$, для гравійної дороги $f_0 = 0,040 - 0,045$);

i – ухил на дорозі ($+i$ на підйомі; $-i$ на спуску; $i=0$ на майданчику);

ϖ_ϵ – коефіцієнт опору повітря.

Вага автомобіля розраховується за виразом:

$$G = M_a g, \quad (2.2)$$

де M_a – маса автомобіля з вантажем, кг;

g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Коефіцієнт опору повітря (ϖ_ϵ) розраховується за формулою:

$$\varpi_\epsilon = \frac{kSV^2g}{G}, \quad (2.3)$$

де k – коефіцієнт обтічності (для вантажних $k=0,06 – 0,07$; для легкових автомобілів $k=0,020 – 0,035$; для автобусів $k=0,025 – 0,040$);

S – площа проекції автомобіля на площину, що перпендикулярна напрямку його руху («лобова площа»), м^2 ;

V – швидкість руху автомобіля, м/с ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

G – вага автомобіля, Н .

Лобову площу автомобіля можна визначити за наближеними формулами:

– для вантажних автомобілів з кузовом «фургон»

$$S = 0,90BH, \quad (2.4)$$

– для вантажних автомобілів і автобусів

$$S = 0,85BH, \quad (2.5)$$

де B и H – габаритна ширина і висота автомобілів, м (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Інформація про масу і габаритні ширину і висоту автомобілів [3]

Група автомобілів	Ширина B , м	Висота H , м	Маса M_a , кг
Легкові	1,76	1,5	1500
Легкі вантажні	1,93	2,6	3500
Середні вантажні	2,3	2,52	10000
Автобуси	2,37	2,85	6500

Розрахунок витрати палива.

Зазвичай витрату палива приймають за технічною характеристикою автомобіля (за експериментальною витратою), що не зовсім вірно, так як ця величина вимірюється на рівному майданчику асфальтобетонної дороги під час руху автомобіля з постійною швидкістю. Насправді витрата пального в конкретних умовах руху (підйоми, спуски тощо) буде істотно відрізнятися від рекомендованої. Для більш точних розрахунків токсичних викидів величину витрати палива (Q_n , л/км) з урахуванням наявних дорожніх умов можна приймати за формулою Ю.Д. Сілукова [4]:

$$Q_{\Pi} = a \frac{F_k \cdot l \cdot n}{4200 \eta_D \eta_{TP} H \rho}, \quad (2.6)$$

де a – безрозмірний коефіцієнт ($a=0,19$);

F_k – дотична сила тяги, що реалізується на провідних колесах автомобіля, Н;

l – довжина ділянки дороги (підйоми, спуски, майданчики), м;

n – коефіцієнт, що враховує режим роботи двигуна (на підйомі $n=1,3$, на майданчику $n=1,2$, на спуску $n=1,5$);

η_D – ККД двигуна (0,27...0,43);

η_{TP} – ККД трансмісії (0,85);

H – питома теплотворна здатність палива, ккал/кг (для бензину 10500 ккал/кг, для дизельного палива 10300 ккал/кг);

ρ – щільність палива, кг/л (для бензину $\rho=0,74$ кг/л, для дизельного палива $\rho=0,875$ кг/л).

Розрахунок інтенсивності викидів.

Значення інтенсивності викидів для кожної забруднюючої речовини визначається за формулами:

$$q_k = 2,06 \cdot 10^{-4} Q_{\Pi} N_k K_k m, \quad (2.7)$$

$$q_{\partial} = 2,06 \cdot 10^{-4} Q_{\Pi} N_{\partial} K_{\partial} m, \quad (2.8)$$

де q_k, q_{∂} – інтенсивність викидів забруднюючої речовини для карбюраторних і дизельних двигунів відповідно, г/м³с;

Q_{Π} – витрата палива одним автомобілем, л/км;

N_k, N_{∂} – інтенсивність руху автомобілів з карбюраторними і дизельними двигунами відповідно, авт./год.;

K_k, K_{∂} – коефіцієнти, що враховують тип двигуна і компонент забруднення (табл. 2.4);

m – коефіцієнт, що враховує дорожні та автотранспортні умови (приймається за графіком (рис. 2.4) в залежності від швидкості транспортного потоку).

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнтів K_k і K_d [5]

Вид викидів (забруднююча речовина)	Значення коефіцієнтів для:	
	карбюраторного двигуна K_k	дизельного двигуна K_d
Діоксид сірки	0,6	0,14
Сажа	0,12	0,037
Діоксид азоту	0,06	0,015

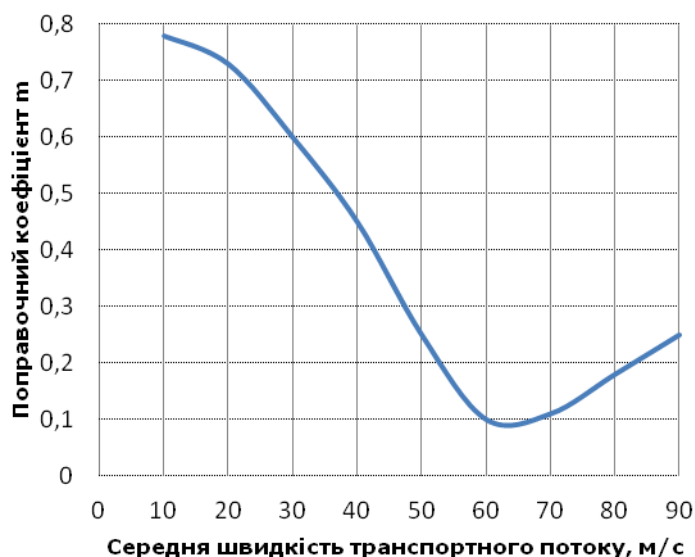


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнту, що враховує дорожні та транспортні умови руху, від середньої швидкості транспортного потоку

Розрахунок концентрації токсичних речовин.

Концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосферного повітря визначаються за виразом:

$$C = \frac{2q \cdot 10^3}{\sigma u \sin \varphi \sqrt{2\pi}} + F, \quad (2.9)$$

де C – концентрація забруднюючої речовини в приземному шарі атмосферного повітря, мг/м^3 ;

q – інтенсивність викидів забруднюючої речовини автотранспортними засобами, $\text{г/м} \cdot \text{с}$;

σ – стандартне відхилення Гаусівського розсіювання в вертикальному напрямку (табл. 2.5), м;

φ – кут, що утворюється напрямком вітру до траси дороги, град.;

u – швидкість вітру, що враховується при куті до дороги не менше 30°;

F – фонові концентрації забруднення повітря, мг/м³ (при розрахунках прийняти $F = 0$ мг/м³).

При куті 90° до 30° швидкість вітру слід множити на синус кута, а при куті менше 30° – замість ($u \cdot \sin \varphi$) у формулі 2.9 потрібно використовувати коефіцієнт 0,5.

Таблиця 2.5 – Значення стандартного Гаусівського відхилення при віддаленні від краю проїжджої частини

Сонячна радіація	Значення стандартного Гаусівського відхилення σ на різному віддаленні (м) від кромки проїжджої частини, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
сильна	2	4	6	8	10	13	19	24	30
слабка	1	2	4	6	8	10	14	18	22

Сильна сонячна радіація відповідає ясній сонячній погоді, слабка – похмурій (в т.ч. дощовій). Величина повинна прийматися в розрахунковий період найбільшої інтенсивності руху (літній період). Рівень сонячної радіації приймається в залежності від того, яка погода переважає в розрахунковий місяць. Результати розрахунку за формулою 2.9 зіставляються з гранично допустимими концентраціями (ГДК) токсичних складових відпрацьованих газів двигунів в повітрі населених пунктів, які наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Гранично допустима концентрація токсичних складових відпрацьованих газів в повітрі населених пунктів [4]

Вид речовини	Клас небезпеки	Середньодобова гранично допустима концентрація, мг/м ³
Діоксид сірки	3	0,05
Діоксид азоту	3	0,06
Сажа	3	0,15

Результати проведених розрахунків для різних відстаней та різних умов наведено на рис. 2.5 – 2.7.

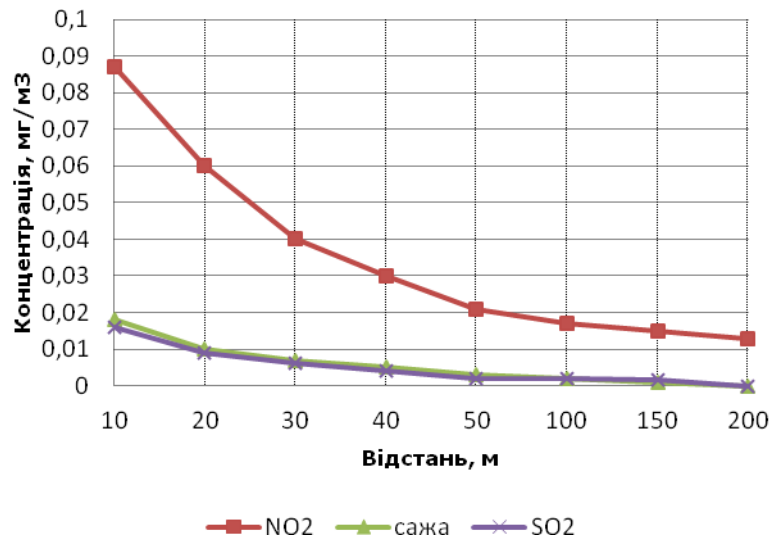


Рисунок 2.5 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїжджої частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

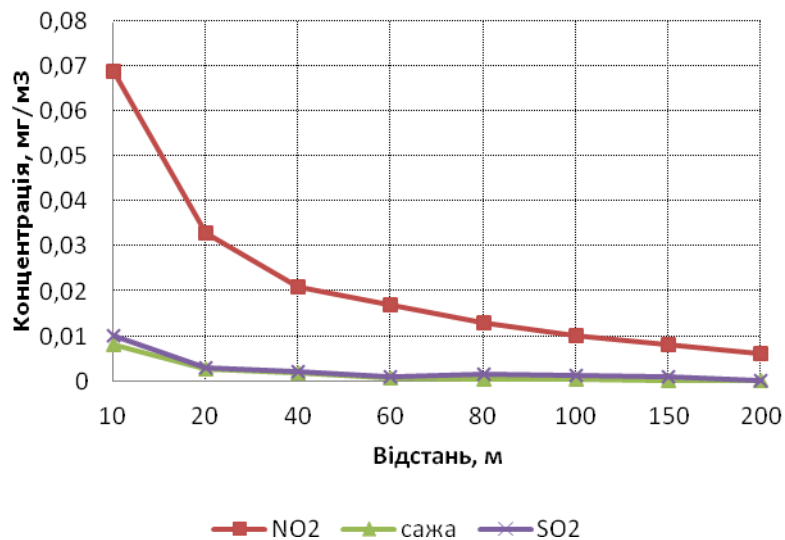


Рисунок 2.6 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїжджої частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 60^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

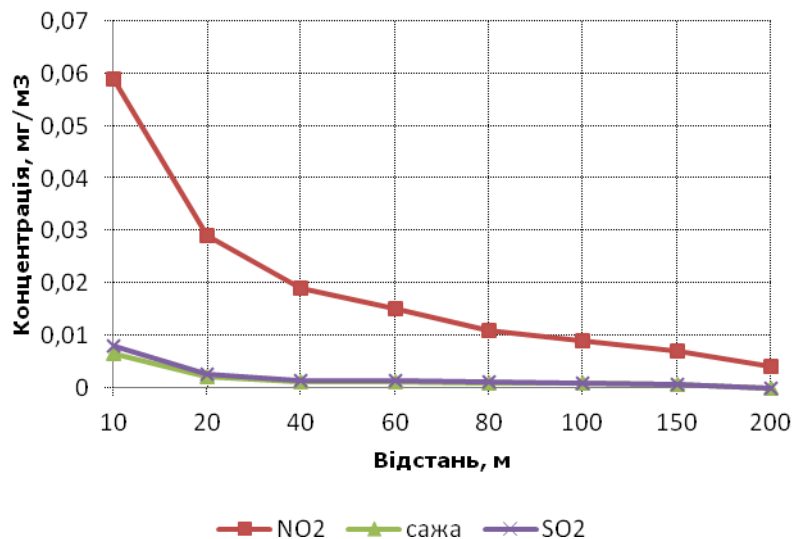


Рисунок 2.7 – Графічна залежність сумарної концентрації шкідливих речовин, що виділяються автотранспортним потоком з переважною кількістю легкових автомобілів, від відстані до проїжджої частини при куті між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 90^\circ$ при швидкості вітру 3 м/с

З отриманих даних можна зробити висновок, що при сталій швидкості вітру кут між його напрямом та віссю дороги впливає на відстань поширення забруднюючих речовин, причому збільшення величини кута призводить до зменшення розміру зони поширення шкідливих речовин. Також встановлено, що збільшення кількості вантажних транспортних засобів і автобусів майже в три з половиною рази призводить до зростання концентрації шкідливих речовин, що містяться у викидах відпрацьованого палива, поблизу автомобільної дороги в середньому на 35 %.

Аналогічним чином визначено концентрацію шкідливих речовин на різних відстанях від дороги при швидкості вітру 1 м/с та 2 м/с. Результати розрахунку для діоксиду азоту наведені на рис. 2.8.

На розповсюдження шкідливих речовин в навколишньому середовищі також впливають швидкість та напрям вітру. Встановлено, що збільшення швидкості вітру та куту між напрямом вітру та віссю автомобільної дороги сприяє зменшенню концентрації шкідливих речовин на прилеглий території.

На рис. 2.8 видно, що найбільша концентрація діоксиду азоту спостерігається у випадку швидкості вітру, що дорівнює 1 м/с та куту між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$. Таким чином ці умови є найменш сприятливими в аспекті екологічної безпеки. Зменшенню концентрації поблизу автомобільної дороги сприятиме збільшення

швидкості вітру та розміру кута між напрямом вітру та віссю дороги (до $\varphi = 90^\circ$). В рамках даного дослідження мінімальне значення концентрації діоксиду азоту за результатами розрахунків спостерігатиметься за наявності вітру швидкістю 3 м/с, напрям якого є перпендикулярним поздовжній вісі автомобільної дороги.

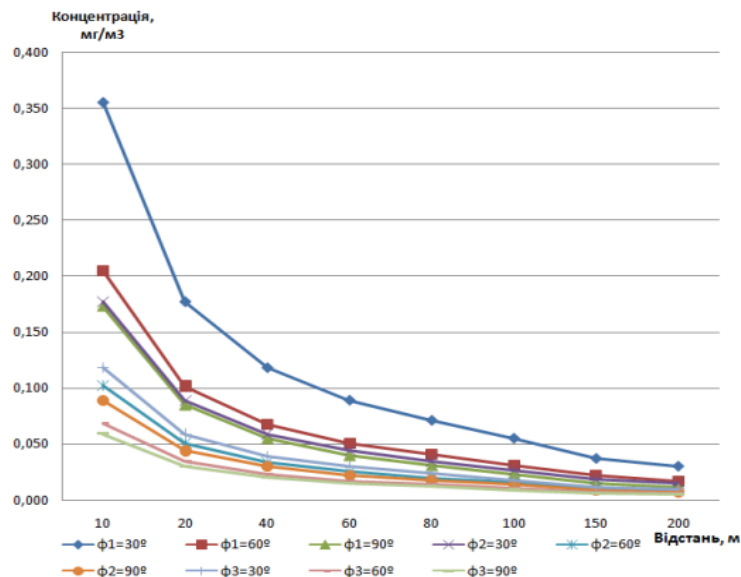
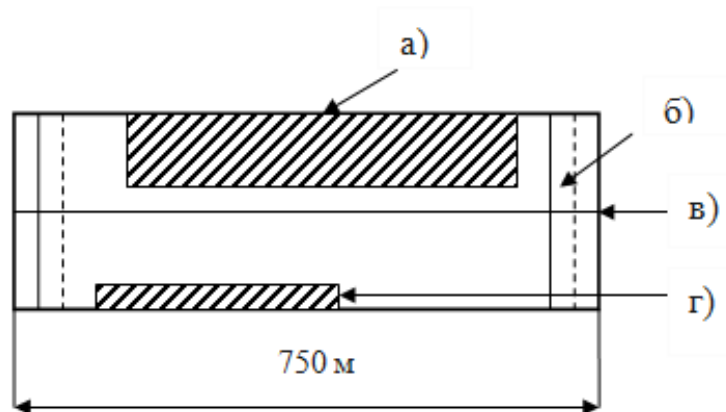


Рисунок 2.8 — Результати розрахунку зміни концентрації діоксиду азоту при віддаленні від проїжджої частини: φ_1 , φ_2 , φ_3 — кути між напрямом вітру та поздовжньою віссю дороги при швидкості вітру відповідно 1, 2, 3 м/с

Експериментальні дослідження здійснювалися переносним універсальним газоаналізатором УГ-2 за діоксидом азоту. Вибір саме цієї хімічної речовини для дослідження інгредієнтного забруднення засновано на рекомендаціях [6], де визначено, що даний показник достатньо повно характеризує стан інгредієнтного забруднення атмосферного повітря.

Тривалість відбору проб повітря для визначення разової концентрації діоксиду азоту складала 20-25 хвилин на визначеній ділянці автомобільної дороги (вул. Академіка Павлова). Вибір ділянки обумовлений прямолінійністю профілю та створенням умов руху автомобілів зі сталою швидкістю. Також поблизу зазначеної ділянки немає інших джерел викидів забруднюючих речовин, які могли б суттєво вплинути на результати експериментальних досліджень (рис. 2.9).



а) багатоповерхова забудова; б) регульовані перехрестя; в) проїжджа частина;
г) одноповерхова забудова

Рисунок 2.9 – Схематичне представлення примігистральної території вулиці Академіка Павлова

При проведенні вимірювань газозбірний пристрій розташовувався на висоті 1,5 м та був орієнтований у напрямку автомобільної дороги [7]. Виміри проводилися на відстані 10 м від краю проїжджої частини. При цьому здійснювався відеозапис автотранспортного потоку з метою подальшого визначення його складу.

При проведенні вимірювань паралельно вимірювалися швидкість вітру та зазначався його напрям. У зв'язку із неможливістю в реальних умовах задати напрям вітру, експериментальні дані згруповані за цим критерієм у дві таблиці. Вимірювання здійснювалися влітку при температурі повітря 20-22 °С.

Результати вимірів концентрації діоксиду азоту наведено в табл. 2.7 – 2.8.

Таблиця 2.7 – Експериментальні дані концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги

Вулиця	Швидкість вітру, м/с	Інтенсивність руху, авт./год	Відсоток вантажних автомобілів	Середня концентрація діоксиду азоту, мг/м ³
Академіка Павлова	1	1722	13	0,24

Таблиця 2.8 – Експериментальні дані концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги

Вулиця	Швидкість вітру, м/с	Інтенсивність руху, авт./год	Відсоток вантажних автомобілів	Середня концентрація діоксиду азоту, мг/м ³
Академіка Павлова	3	1702	13	0,09

Результати порівняння даних, отриманих при проведенні експерименту, із результатами теоретичних розрахунків наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Порівняння експериментальних і розрахункових даних концентрації діоксиду азоту в зоні впливу автомобільної дороги

Вулиця	Середня концентрація діоксиду азоту, мг/м ³	Розрахункова концентрація діоксиду азоту, мг/м ³	Різниця, мг/м ³
Академіка Павлова	0,09	0,087	0,003

За отриманими даними можна зробити висновок, що похибка не перевищує 4 %, тобто отримані математичні залежності можуть бути використані для вирішення практичних завдань прогнозування стану атмосферного середовища в зоні впливу автомобільної дороги.

За результатами досліджень можна зробити висновок, що в умовах щільної висотної забудови складається несприятлива ситуація в аспекті інгредієнтного забруднення. Будівлі, що розташовані уздовж автомобільної дороги, перешкоджають руху повітря, а це призводить до зростання концентрації небезпечних речовин. Слід зазначити, що в теперішній час в м. Харкові здійснюється забудова житловими будинками території, що знаходиться на відстані 15 м від краю автомобільної дороги, причому житлові приміщення розташовані починаючи з першого поверху. Ця ситуація є дуже загрозливою для мешканців, оскільки в даному випадку відбувається сумація зовнішнього інгредієнтного забруднення із внутрішнім, джерелами якого є газові плити, оздоблювальні матеріали та меблі із

штучних матеріалів. За таких умов у мешканців можливе виникнення певних змін у стані здоров'я: алергічних захворювань, які можуть з часом ускладнитися у бронхіальну астму; онкологічних захворювань; змін в репродуктивній системі та ін.

Також у роботі досліджувався рівень шуму на при магістральній території. В умовах руху транспорту вулицями міста на рівні шуму, що випромінюються транспортними потоками в навколишнє середовище, впливають такі фактори, як характеристики транспортного потоку та характеристики навколишнього середовища (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 — Фактори, що впливають на рівень транспортного шуму

В рамках оцінки акустичного забруднення примагістральної території та теоретичного дослідження, проведено аналіз розрахункових методик та виявлено, що найбільш об'єктивно шумова характеристика потоку може бути визначена за методикою,

наведеною в «Рекомендаціях з обліку вимог щодо охорони навколишнього середовища при проектуванні автомобільних доріг і мостових переходів» (табл. 2.10) [8]. Дана методика дозволяє визначити рівень звуку на відстані 7,5 м від транспортного потоку з найменшою похибкою (середньоквадратичне відхилення 1-2 дБА). У розрахунках середня швидкість потоку приймалася 50 км/год, поправка на дорожнє покриття – 1,5 дБА. Результати розрахунків представлені в табл. 2.11.

Таблиця 2.10 – Залежність шумової характеристики від інтенсивності і швидкості потоку [8]

Інтенсивність, авт./год	Еквівалентний рівень звуку дБА, при швидкості, км/год						
	30	40	50	60	70	80	85
50	63,5	65,0	66,5	68	69,5	71,0	71,8
75	65,0	66,5	68,0	69,5	71,0	72,5	73,3
100	66,5	68,0	69,5	71,0	72,5	74,0	74,8
500	72,5	74,0	75,5	77,0	78,5	80,0	80,8
800	74,5	76,0	77,5	79,0	80,5	82,0	82,8
1650	76,5	78,0	79,5	81,0	82,5	84,0	84,8
3000	78,5	80,	81,5	83,0	84,5	86,0	86,8
4500	79,5	81,0	82,5	84,0	85,5	87,0	87,8
6000	80,5	82,0	83,5	85,0	86,5	88,0	88,8
7500	81,0	82,5	84,0	85,5	87,0	88,5	89,3
9000	81,5	83,0	84,5	86,0	87,5	89,0	89,8
12000	82,5	84,0	85,5	87,0	88,5	90,0	90,8

Таблиця 2.11 – Шумові характеристики транспортного потоку (ділянка вул. Академіка Павлова)

Назва вулиць	Інтенсивність, авт./год		Відсоток вантажних, %	Еквівалентний рівень звуку, дБА	
	вдень	вночі		вдень	вночі
вул. Академіка Павлова	1428	362	18,8	77	71,5

Експериментальні дослідження є обов'язковою умовою забезпечення повноти наукових досліджень. При організації експериментальних досліджень транспортних потоків слід відмітити, що вони характеризуються наявністю значної кількості вихідних

даних з неповною достовірністю, а також практичною неможливістю проведення експерименту в чистих умовах.

Оцінка шуму транспортних потоків здійснювалася на основі [9], котрий визначає, що шумовою характеристикою транспортних потоків є еквівалентний рівень звуку $L_{Аекв}$. Даний стандарт визначає умови проведення вимірювань шуму транспортних потоків, а саме: розташування місця проведення вимірювань на відстані не менше 50 м від перехресть, зупинок громадського транспорту в місцях зі сталою швидкістю руху; відсутність вологи чи бруду на поверхні доріг, що досліджуються; час проведення вимірювань повинен співпадати з максимальною інтенсивністю руху транспортного потоку; швидкість вітру під час проведення вимірювань не повинна перевищувати 5 м/с. Виміри проводилися на вул. Академіка Павлова (ділянка між вул. Владислава Зубенка і вул. Валентинівська) на відстані 7,5 м від вісі смуги, що є найближчою до точки проведення вимірювань, на висоті 1,5 м від поверхні дороги за допомогою шумоміру DT-8852 класу точності 2. При цьому мікрофон не розташовувався ближче 1 м до стіни будівель або інших споруд, що відбивають звук. При проведенні вимірювань мікрофон був орієнтований у напрямку транспортного потоку.

Паралельно із замірами рівнів шуму транспортного потоку здійснювався відеозапис транспортного потоку, що дозволило отримати докладну інформацію стосовно його складу. Загальна тривалість вимірювань не менше 30 хвилин, що складається з трьох циклів кожен по 10 хвилин 3-4 рази на добу. Графічне представлення одного з вимірів рівня звуку наведено на рис. 2.11.

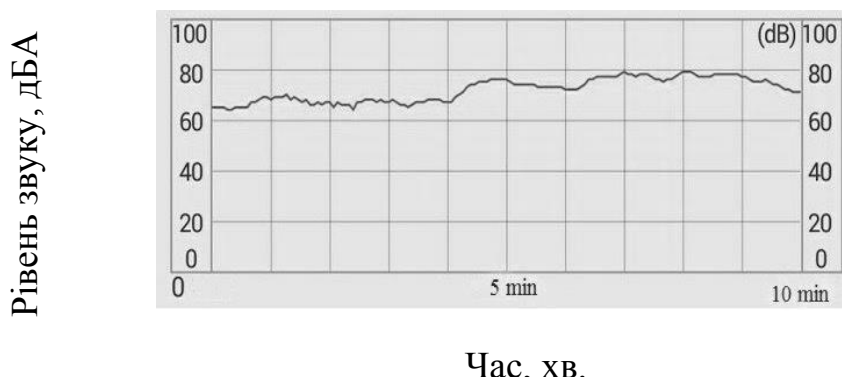


Рисунок 2.11 — Результати вимірювання рівня звукового тиску

Обробка експериментальних даних здійснювалася за методикою [9], яка передбачає визначення еквівалентних рівнів шуму на основі кількості відліків рівнів шуму за інтервалами. В табл. 2.12 наведені результати експериментальних досліджень шумовипромінювання транспортних потоків на вул. Академіка Павлова.

Таблиця 2.12 – Результати експериментальних досліджень шумовипромінювання автотранспортних потоків

Назва вулиці	N, авт./год	Частка числа відліків в даному інтервалі рівнів звуку, дБА, в сумарній кількості відліків, %								$L_{Аекв}$, дБА
		48-52	53-57	58-62	63-67	68-72	73-77	78-82	83-87	
вул. Академіка Павлова	1428	0,9	2,2	5,9	11,4	12,7	30,1	36,8	0	80

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що вдень $L_{Аекв}$ дорівнює 80 дБА. Результати отримані теоретичним та експериментальним методом збігаються. Оцінка рівня акустичного навантаження вказує на перевищення допустимого рівня шуму.

При економічній оцінці впливу транспортного шуму збиток від його дії визначався як втрата частини національного доходу в результаті постійного впливу шуму на людину [10].

Розрахунок погодинного збитку з використанням коефіцієнта зниження національного доходу від впливу шуму виконували за формулою:

$$Z_{zod} = C_{zod} \sum_{i=1}^n N_{жL_i} \cdot K_n(L_i), \quad (2.10)$$

де Z_{zod} – погодинний збиток від високих рівнів транспортного шуму, грн./год.;

C_{zod} – вартість роботи однієї людини за годину, грн./год.;

$N_{жL_i}$ – кількість людей на яких діє рівень шуму L_i , чол.;

$K_n(L_i)$ – коефіцієнт зменшення національного доходу.

Отже, збиток від шумового забруднення навколишнього середовища становить приблизно 39 дол./год. на кожні 100 чоловік і перебуває у прямій залежності від рівня шуму в квартирах і кількості мешканців на яких він діє.

В рамках III етапу дослідження встановлено що, одним з найбільш перспективних напрямків захисту сельбищної зони та робочих місць, що знаходяться у приміщеннях будівель, які розташовані поблизу транспортних магістралей, є застосування акустичних екранів. До переваг застосування акустичних екранів у порівнянні, наприклад, з зеленими насадженнями, слід відзначити сталу ефективність, незалежно від періоду року, щільності листя [11]. Крім того ефективність дії акустичних екранів настає з моменту їх встановлення, в той час як для досягання певної шумозахисної ефективності зеленими насадженнями потрібний тривалий час, доки дерева та кущі здобудуть певної висоти та інших характеристик.

2.3 Обґрунтування параметрів інженерних конструкцій для захисту сельбищної території

Проблема боротьби з міськими шумами тісно пов'язана з раціональним перетворенням міського середовища, яке повинно йти шляхом ліквідації або скорочення кількості джерел шуму, локалізації зони емісії шуму, зниження рівня звуку джерел і захисту від шуму місць перебування людини [12].

В даний час накопичений величезний практичний досвід застосування різноманітних шумозахисних заходів для зниження автотранспортного шуму. В Японії, США, Німеччині, Італії, Канаді, в Австралії, Швеції та інших країнах встановлені десятки тисяч кілометрів акустичних екранів. Японія, Франція і Німеччина використовують шумопоглинальне дорожнє покриття для зниження шуму шин автомобілів. Для зниження рівня звуку на шляху його поширення успішно використовуються насипи і зелені насадження. Розробка комплексу шумозахисту здійснюється відповідно до необхідного зниження рівня звуку, а вибір екранних споруд продиктований, в першу чергу, міркуваннями ефективності шумозахисних заходів і їх вартістю, а також вимогами безпеки, особливостями експлуатації та естетичним сприйняттям [13].

В ході дослідження встановлено рівень акустичного навантаження, що перевищує допустимий рівень шуму. На IV етапі дослідження розроблено природоохоронний захід для захисту сельбищної території від інгредієнтно-параметричного забруднення. Пропонується влаштування комбінованого шумозахисного бар'єру з інтегрованими сонячними батареями на правому проїзді, загальною довжиною 400 м (рис. 2.12).

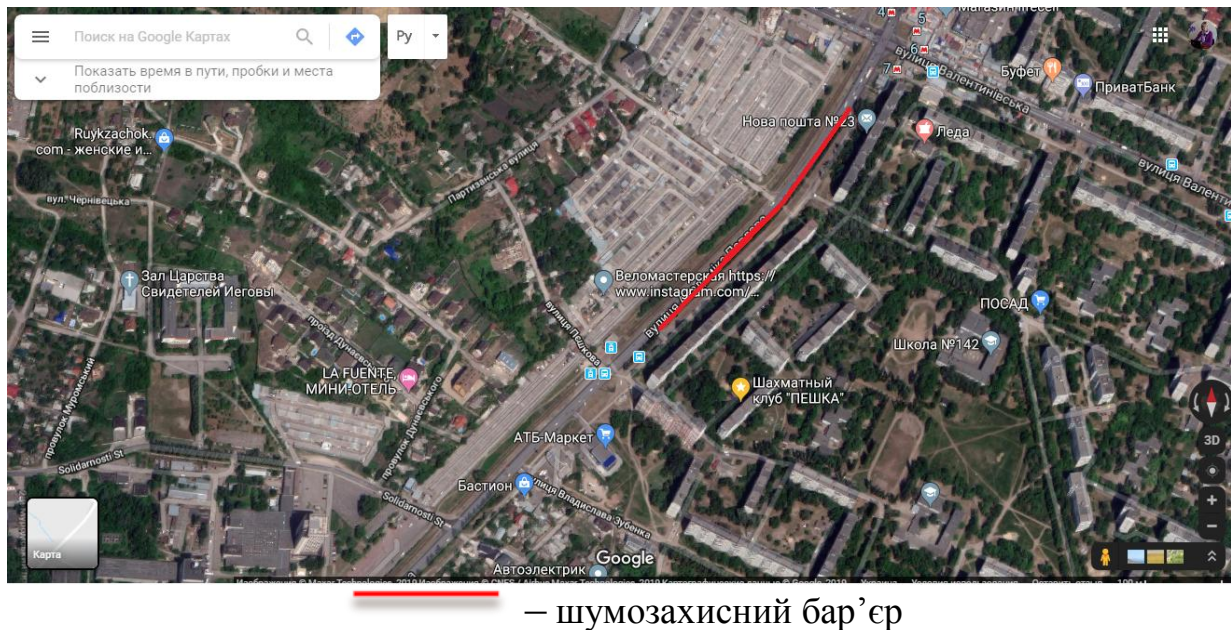
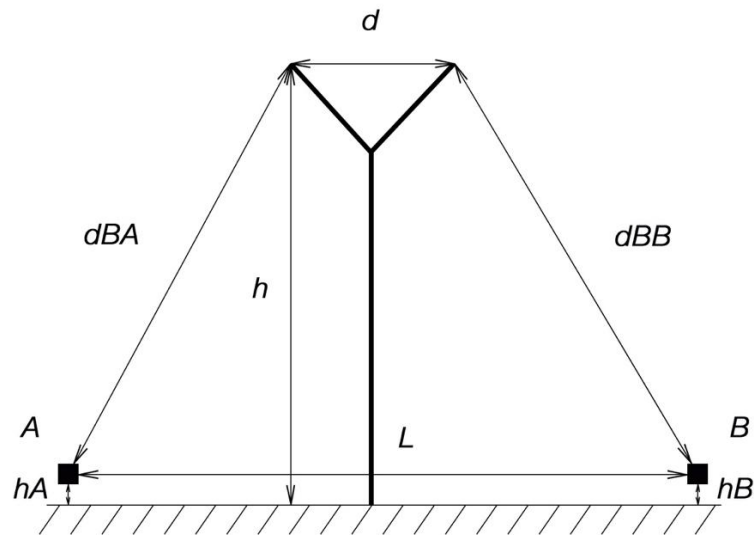


Рисунок 2.12 – Розташування шумозахисного бар'єру на ділянці автомобільної дороги (вул. Академіка Павлова)

В основу запропонованого комбінованого шумозахисного бар'єру поставлено завдання вдосконалити шумозахисний екран таким чином, щоб він виконував одночасно декілька завдань:

- абсорбція шкідливих речовин відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння;
- відбивання звукової хвилі;
- шумопоглинання;
- дотримання умов безпеки дорожнього руху;
- підвищена енергоефективність.

Поставлена мета досягається завдяки тому, що в інженерній споруді одночасно використовуються різні матеріали, а Y-образна конструкція шумозахисного бар'єру дозволяє зекономити на його висоті (рис. 2.13).



A – об’єкт, що захищається від шуму; B – джерело шуму; C – комбінований шумозахисний бар’єр; h – висота бар’єру; l – відстань від джерела шуму до об’єкту, що захищається; d_{BB} – відстань від джерела шуму до першої дифракційної кромки; d_{BA} – відстань від другої дифракційної кромки до об’єкту, який захищається інженерною конструкцією; d – відстань між дифракційними кромками бар’єру; h_A – висота приймача шуму; h_B – висота умовного акустичного центру джерела шуму

Рисунок 2.13 – Конструкція шумозахисного бар’єру

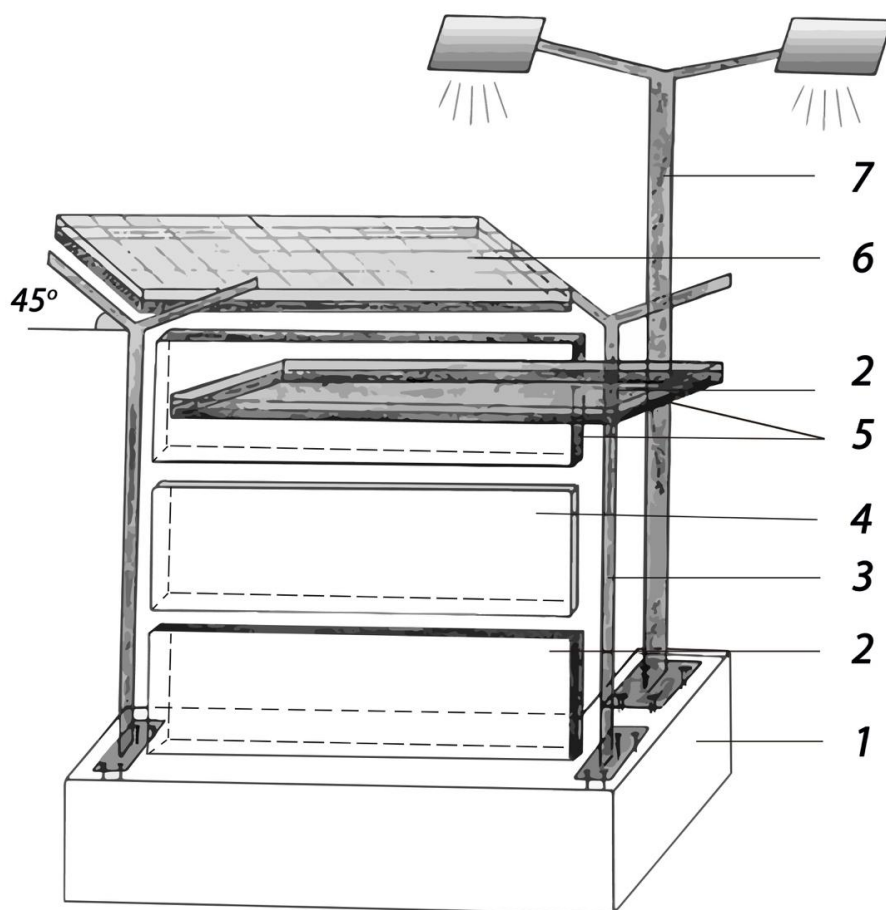
Дифракційні явища, що виникають на гранях бар’єру, суттєво впливають на його ефективність, особливо в області низьких частот. Тому, в конструкції шумозахисного бар’єру необхідно передбачити такі конструктивні елементи, які сприятимуть зменшенню розповсюдження вторинних (дифракційних) акустичних хвиль, що огинають бар’єр та потрапляють до ділянки території, що захищається. Цій вимозі в повній мірі відповідає захисна інженерна конструкція Y-образного профілю із звукопоглинальною поверхнею.

Вибір такої форми шумозахисного бар’єру обумовлений:

- можливістю зменшення дифракції на його кромці;
- запобіганням утворення фронту відбитої звукової хвилі, що дає змогу не встановлювати захисний бар’єр з протилежного боку автомобільної дороги;
- можливістю підбору модулів бар’єру під заданий спектр транспортного шуму;
- простотою монтажу та експлуатації.

Крім того, Y-образна конструкція шумозахисного екрану дозволяє зекономити на його висоті. Це є суттєвою перевагою для великогабаритних об'єктів захисту, наприклад, багатоповерхових споруд.

На рис. 2.14 наглядно представлено конструктивний устрій складових елементів комбінованого шумозахисного бар'єру з інтегрованими сонячними батареями.



1 – абсорбуючий шар бетонної конструкції шумозахисного бар'єру, 2 – перфорований металевий модуль, 3 – опорні стійки, 4 – звуковідбивні прозорі модулі, 5 – звукопоглинальні матеріали, 6 – елементи сонячних батарей, 7 – ліхтарі вуличного освітлення

Рисунок 2.14 – Конструктивний устрій складових елементів комбінованого шумозахисного бар'єру [14]

Ефективність використання запропонованого пристрою досягається наступним чином.

В абсорбуючий шар бетонної конструкції 1 додається каталізатор. Фотокаталітичний бетон виготовляється за технологією, згідно з якою в рецептуру бетону додаються наночастинки каталізатора – діоксиду титану (TiO_2). Під впливом ультрафіолетових променів сонячного світла діоксид титану активує кисень в навколишньому повітрі. Кисень взаємодіє з оксидами азоту таким чином, що утворюються іони нітриту, які в свою чергу, взаємодіючи з вапном в цементі, перетворюються в нітрати і змиваються водою. Обсяг змитих нітратів настільки малий, що ним можна знехтувати. Додавання діоксиду титану в цемент покращує механічні властивості одержуваних бетонів. Фотокаталітична активність бетонів на основі діоксиду титану при регулярному чищенні активної поверхні зберігається через багато років після початку застосування.

На бетонній конструкції закріплюються опорні стійки 3 для розміщення звукопоглинальних і звуковідбивних модулів та сонячних батарей, верхня частина яких має Y-образну форму з кутом нахилу 45° .

В конструкції захисного бар'єру застосовуються звукопоглинальні матеріали 5 з метою зниження вторинних акустичних проявів транспортного потоку внаслідок відбиття акустичних хвиль від поверхні бар'єру у протилежний бік. В якості сировини для виробництва звукопоглинальних матеріалів можна застосовувати: полімери органічного походження, композиційні матеріали, мінеральні волокна та ін.

З урахуванням того, що призначення захисного бар'єру полягає не тільки в зниженні акустичної складової впливу транспортних потоків на прилеглу територію, але й ступеня інгредієнтного забруднення, вибір наповнювача звукопоглинальних модулів здійснюється з урахуванням можливих абсорбційних якостей матеріалу. З урахуванням цього можливим є зниження ступеня загазованості не тільки на примігистральних територіях, але й безпосередньо в зоні руху автотранспортних потоків.

Таким вимогам задовольняють вуглецеві матеріали. В якості сировини для них можна використовувати будь-які речовини, що містять вуглець: целюлоза, торф, кам'яне вугілля, синтетичні полімерні матеріали та ін. Вуглецеві матеріали можуть бути у різних формах: гранульовані, волокнисті, пористі, плівкові.

Шум транспортного потоку є непостійним, тому звукопоглинальний матеріал повинний бути ефективним в широкій

області частот. Ефективність звукопоглинального матеріалу в значній мірі обумовлюється низкою його характеристик, таких як товщина, питома площа поверхні пор, загальний обсяг наскрізних каналів, щільність та ін. Виходячи з міркувань зручності монтажу та подальшої експлуатації, доцільним є використання вуглецевих матеріалів у вигляді рулонних матеріалів із волокнистою структурою, а також у вигляді пористих плит. Для фіксації звукопоглинального матеріалу в модулі та попередженні його висипання із конструкції захисного екрану можна використовувати тканинні оболонки, які можуть бути виготовлені, наприклад, зі скляного або капронового волокна. З метою підвищення рівня пожежної безпеки конструкції можливою є обробка тканинних оболонок антипіренами.

Звукопоглинальний матеріал розміщується в перфорованому металевому модулі 2, який забезпечує необхідну жорсткість конструкції.

У зв'язку з необхідністю забезпечення зорового комфорту мешканців сельбищної зони та достатньої видимості водіїв шумозахисні екрани доцільно виконувати прозорими, але це погіршує їх захисні властивості. В даній моделі пропонується комбінувати світлопрозорі та звукопоглинальні модулі.

Для того, щоб не перешкоджати огляду користувачам дороги, мешканцям, знизити відчуття замкнутості простору, стомлюваність водіїв і пасажирів, тим самим забезпечити умови безпеки дорожнього руху, в конструкцію шумозахисного бар'єру рекомендується додавати прозорі панелі 4. Для цього можна використовувати прозорі матеріали – монолітне поліметілметакрілатне скло, а також напівпрозорі – полікарбонат.

Повний потенціал сонячної енергії можна розкрити, якщо інтегрувати елементи сонячних батарей 6 в інженерні конструкції. Ефективним вирішенням є поєднання сонячних батарей з шумозахисними екранами. Такий підхід дозволяє отримати ефективний захист від шуму разом з виробленням "чистої" електроенергії.

До переваг використання шумозахисних бар'єрів з інтегрованими сонячними батареями слід віднести:

- зменшення вартості сонячної батареї, оскільки основою виступає шумозахисний бар'єр;
- подвійне використання земельних ресурсів, що дозволяє використовувати землю на краях дороги як для захисту від шуму, так

і для виробництва електроенергії;

- позитивне сприйняття населенням;
- близьке розміщення до районів, що потребують як електроенергії, так і захисту від шуму;
- позитивна дія на екологічну ситуацію.

Універсальність конструкції захисного бар'єру, що пропонується, підтверджується тим, що він може бути придатним для розміщення ліхтарів вуличного освітлення 7, в яких джерелом живлення є сонячні батареї, що розташовуються в верхній частині бар'єру. Така комбінація є економічно доцільною як з боку капіталовкладень на будівництво системи зовнішнього освітлення, так і з боку його енергоефективності.

Розроблений шумозахисний бар'єр може бути використаний для захисту від шуму, звукових хвиль та хімічних сполук відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння міського середовища, житлових будівель та пішохідних зон.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. В ході оцінки впливу автотранспортного комплексу на навколишнє середовище встановлено, що автомобільну дорогу можна віднести до вагомego стаціонарного джерела забруднення.

2. Встановлено, що на ступінь забруднення повітряного середовища в зоні впливу автомобільної дороги в найбільшій мірі впливає швидкість вітру. Збільшення швидкості вітру та куту між напрямом вітру та віссю автомобільної дороги сприяє зменшенню концентрації шкідливих речовин на прилеглої території. Найбільша концентрація діоксиду азоту спостерігається у випадку швидкості вітру, що дорівнює 1 м/с та куту між напрямом вітру та віссю дороги $\varphi = 30^\circ$. Таким чином ці умови є найменш сприятливими в аспекті екологічної безпеки. Зменшенню концентрації поблизу автомобільної дороги сприятиме збільшення швидкості вітру та розміру кута між напрямом вітру та віссю дороги (до $\varphi = 90^\circ$). В рамках даного дослідження мінімальне значення концентрації діоксиду азоту за результатами розрахунків спостерігатиметься за наявності вітру швидкістю 3 м/с, напрям якого є перпендикулярним поздовжній вісі автомобільної дороги.

3. В ході дослідження встановлено, що вул. Академіка Павлова знаходиться в зоні акустичного дискомфорту (рівень шуму 80 дБА в години «пік»), який перевищує допустимий рівень шуму у 55 дБА. Погодинний збиток від шумового забруднення навколишнього середовища з використанням коефіцієнта зниження національного доходу від впливу шуму становить приблизно 39 дол./год на кожні 100 чоловік і перебуває у прямій залежності від рівня шуму в квартирах і кількості мешканців на яких він діє.

4. Розроблено нову модель шумозахисного бар'єру і пропонується, як природоохоронний захід, його розміщення на одному з узбіч автомобільної дороги по вул. Академіка Павлова (ділянка між вул. Валентинівська і вул. Владислава Зубенка). Такий бар'єр може бути використаний для захисту міського середовища, житлових будівель та пішохідних зон від шуму, звукових хвиль та хімічних сполук відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лежнева О.І., Ковака А.С., Сімінко Д.П. Дослідження ландшафтно-екологічних характеристик міської території. Вестник ХНАДУ. 2015. №68. – С. 19-24.

2. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник. – К.: Арістей, 2001. – 292 с.

3. Технические характеристики автомобилей.: <http://www.autonet.ru/auto/ttx>.

4. Силуков Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах: учеб. для студентов вузов автом.-дорож. специальностей. – Екатеринбург, 2000. – 133 с.

5. Гранично допустимі концентрації (ГДК) і орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів затверджені наказами Міністерства охорони здоров'я України від 09.07.1997 року №201 і №8 від 10.01.1997 року.

6. Осетрін М.М., Солуха Б.В., Шилова Т.О. Екологічна оцінка перетинів міських магістралей у різних рівнях: навч. посібник. – К.: КНУБА, 2010. – 108 с.

7. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (забруднення хімічними та біологічними речовинами ДСП-201-97). URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>.

8. Захист територій, будинків і споруд від шуму: ДБН В.1.1-31:2013 [Чинний від 2014-06-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України. – 54 с.

9. Методика досліджень та оцінки шумового навантаження: М 218-03449261-258-2004 [Чинний від 2004-04-23]. – К., 2004. – 18 с.

10. Lezhneva E., K. Vakulenko K., Galkin A. ASSESSING OF TRAFFIC NOISE POLLUTION OF ROAD TRANSPORT IN URBAN RESIDENTIAL // Romanian Journal of Transport Infrastructure. – 2019. – Т. 8. – №. 2. – С. 18-33.

11. Шейкіна Ю.О., Мислюк О.О. Акустичне забруднення селітебного середовища міста від транспортних потоків // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського: зб. наук. пр. / Кременчуцький держ. політехн. ун-т ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2007. – Вип. 5/2007(46). Частина 1. – С. 144-147.

12. Козлов Ю.С., Меньшова В.П., Святкин И.А. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1999. – 175 с.

13. Погорелая Е.А. Применение шумозащитных экранов в городской среде // Наука – Будущее Литвы. Инженерия транспорта и организация перевозок. – Вильнюс: ВГТУ, 2013. – С. 30-34.

14. Патент України №136314 «Комбінований шумозахисний бар'єр з інтегрованими сонячними батареями» від 12.08.2019 року / винахідник Лежнева О.І., заявник і власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

**ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ
ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ ЗА
РАХУНОК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОСТІ ТА
ЗСУВОСТІЙКОСТІ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ**

В Україні автомобільний транспорт є лідером як за обсягом вантажоперевезень так і за масштабом забруднення придорожнього простору. За видами впливу і джерелами забруднення розрізняють наступні групи, що впливають на екологічну безпеку [1]:

- забруднення від транспортних засобів (викиди, які утворюються в результаті згоряння палива, акустичне забруднення);
- технологічний вплив, що виникає під час робіт з будівництва чи ремонту автомобільних доріг (забруднення атмосферного повітря, території, ґрунтів та водоймищ при роботі дорожньо-будівельних машин);
- зміна природної системи в результаті будівництва автомобільної дороги (зміна форми рельєфу, умов руху ґрунтових вод, шляхів міграції тварин).

Лідеруючу позицію за масштабами забруднення придорожнього простору займають забруднення, що утворюються від руху транспортних засобів. В вихлопних газах автомобілів міститься близько 200 хімічних сполук, частина з яких є небезпечні для людини [2].

Геометрія дороги може сприяти збільшенню забруднення середовища. На спусках, підйомах, в місцях перетину доріг, на зупинках, де змінюються режими роботи двигунів, істотно збільшується забруднення навколишнього середовища. Якість дорожнього покриття впливає на рівень акустичного забруднення та обсяги викидів вихлопних газів. Із зростанням нерівностей дорожніх покриттів значно збільшується рівень шуму і обсяги викидів [2]. При наявності значних руйнувань та деформацій покриття водій змушений постійно змінювати швидкісний режим руху (гальмувати та збільшувати швидкість), що викликатиме зростання витрати палива та збільшення впливу на навколишнє середовище. Тому якість дорожнього покриття має значний вплив на екологічне забруднення придорожнього простору. Забезпечення рівності та зсувостійкості

покриття дорожнього одягу є одним з важливих заходів, що дозволяють підвищити екологічний стан придорожнього простору.

Мета роботи полягає у зменшенні екологічного забруднення придорожнього простору у Харківській області за рахунок забезпечення рівності та зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі.

До основних задач, що вирішуються в роботі, відносяться:

- аналіз найпоширеніших деформацій та руйнувань асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, які призводять до зниження швидкості руху транспортного потоку, що в свою чергу може впливати на витрату пального і викиди забруднюючих речовин відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння;
- розробка методики оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття на жорсткій основі;
- визначення добового перепаду температур по товщині конструкції дорожнього одягу для умов Харківської області;
- моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу від дії транспортного навантаження та температурного деформування;
- визначення мінімально необхідної товщини асфальтобетонного шару покриття на жорсткій основі для умов Харківської області, що дозволить забезпечити зсувостійкість і рівність покриття та зменшити забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами відпрацьованих газів.

Результати досліджень можна використовувати в усіх регіонах України з метою покращення умов руху для транспортних потоків за рахунок забезпечення рівності та зсувостійкості покриття конструкції дорожнього одягу, що складається з асфальтобетонного шару, влаштованого на жорсткій основі у вигляді цементобетонних плит, а це в свою чергу може позитивно вплинути на стан атмосферного повітря.

3.1 Аналіз конструктивних рішень влаштування асфальтобетонних шарів на жорсткій основі

В умовах сучасної високої інтенсивності і вантажонапруженості доцільно використовувати жорсткі дорожні одяги, оскільки вони мають високу міцність та довговічність [3]. Під терміном жорсткий дорожній одяг розглядається дорожній одяг влаштований у вигляді цементобетонних плит з деформаційними швами.

Більшість існуючих автомобільних доріг з цементобетонним покриттям збудовано більше 30 років тому, логічно що майже всі вони потребують ремонту. До найпоширеніших дефектів і руйнувань цементобетонних покриттів відноситься: лущення поверхневого шару бетону, тріщинуватість, обколи кутів і країв плит, викривлення, руйнування стикових з'єднань і заповнювачів швів [3]. При цьому несна здатність таких конструкцій залишається достатньо високою і вони потребують лише підвищення транспортно-експлуатаційного стану. Відсутність ефективної технології ремонту поверхневих руйнувань цементобетонних покриттів з високою швидкістю та низькою вартістю заважає нормальній їх експлуатації та призводить до зростання рівня забруднення атмосферного повітря шкідливими викидами [2, 4]. Тому в більшості випадків, оскільки цементобетонні плити зберігають високу міцність, їх використовують в якості основи під асфальтобетонне покриття, оскільки асфальтобетон є більш ремонтпридатним та дозволяє підвищувати транспортно-експлуатаційні характеристики покриття [5, 6].

Згідно з класифікацією наведеною у ВБН В.2.3–218–532:2007 [7] до тонкошарових асфальтобетонних покриттів відносяться шари товщиною до 5 см включно. Отримана таким чином конструкція характеризується високою несною здатністю завдяки цементобетонній плиті в основі, відносною легкістю виконання ремонтних робіт завдяки асфальтобетонному шару та комфортабельними умовами руху, що дозволяють покращити екологічний стан придорожнього простору [4].

При виконанні ремонтних робіт та новому будівництві з влаштування асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах використовуються різні товщини асфальтобетонного шару в

залежності від стану цементобетонних плит. При новому будівництві варто використовувати тонкошарове асфальтобетонне покриття, оскільки немає необхідності у вирівнюванні цементобетонного покриття.

При ремонті цементобетонних плит улаштуванням асфальтобетонного покриття використовуються різноманітні технології і конструктивні рішення, які обираються в залежності від стану цементобетонних плит. У 2007-2008 роках виконано ремонт автомобільної дороги М-29 Харків – Красноград – Перещепине протяжністю понад 100 км, що знаходиться на території Харківської області [8, 9]. На цій ділянці дорожній одяг у 90-х роках влаштований з монолітного цементобетонну товщиною від 22 см до 24 см, який при експлуатації зазнав значних дефектів у вигляді: шліфування поверхні плит та втрати шорсткості, лущення поверхневого шару цементобетонну, сколи країв та кутів плит, тріщинуватість, руйнування стикових з'єднань та заповнювачів швів, вибоїни та раковини. Зазначені дефекти значно зменшують швидкість руху та збільшують забруднення придорожного простору.

Причиною цих дефектів є дія: зовнішнього навантаження, природно-кліматичних факторів та дія хімічних протиожеледних реагентів. Ці дефекти важко усунути, також вони являють собою основу для подальшого руйнування цементобетонних плит. При ремонті зазначеної ділянки автомобільної дороги спочатку виконати ремонт руйнувань кожної окремої цементобетонної плити, після чого влаштували вирівнюючий шар з дрібнозернистого асфальтобетону та верхній шар з щебенево-мастикового асфальтобетону товщиною 5 см.

Аналогічне конструктивне рішення використано при ремонті об'їзної дороги навколо міста Харкова на ділянці автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський. Дорожній одяг, на ділянці автомобільної дороги М-03 навколо міста Харкова, перед початком ремонту був наступний: шар піску, цементобетонні плити товщиною від 19 см до 21 см, асфальтобетонний шар товщиною від 3 см до 9 см. В процесі ремонту були виконані роботи по фрезеруванню старого асфальтобетонного шару, заміні окремих зруйнованих цементобетонних плит, в місцях, де це необхідно, улаштування вирівнюючого шару з дрібнозернистого асфальтобетону та верхнього шару покриття з щебенево-мастикового асфальтобетону товщиною 5 см [10].

Недоліком використання конструкцій з асфальтобетонним

шаром на цементобетонних плитах є досить висока ймовірність виникнення температурних тріщин та відображених тріщин в асфальтобетонному шарі над швами цементобетонних плит. Небезпека виникнення тріщин у асфальтобетонному покритті полягає у тому, що поступово погіршується рівність покриття, суттєво знижується комфортність руху, знижується безпека руху, підвищуються транспортні витрати та забруднення придорожного простору, відбувається потрапляння вологи у тріщини та під асфальтобетонний шар. Утворення тріщин призводить до передчасного руйнування покриття, а також погіршує умови роботи цементобетонної плити. Ремонтні роботи по ліквідації таких руйнувань мають значну вартість та трудоемкість [11].

Можна виділити дві основні причини відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонному шарі над швами цементобетонних плит [11, 12]: дія температурного деформування та вплив транспортного навантаження.

Температурні впливи:

- напруження і деформації (особливо верхнього шару) через перепади температур;
- розшарування конструкції, руйнування шарів при замерзанні і відтаванні вологи і особливо при впливі розчину протиожеледних реагентів, що проникають через тріщини верхнього шару;
- передача розтягуючих напружень у верхній шар з нижнього шару за рахунок зчеплення шарів у результаті температурного розкриття тріщин;
- дефекти конструктивних елементів (голі арматури, неякісні деформаційні шви та ін), що є концентраторами напружень в нижньому шарі і впливають на верхній шар.

При коливанні температури цементобетонні плити змінюють свої лінійні розміри, при цьому змінюється ширина температурного шва між ними. Тому в зоні температурного шва цементобетонних плит ці деформації будуть сприйматися асфальтобетонним шаром (рис. 3.1) [12].

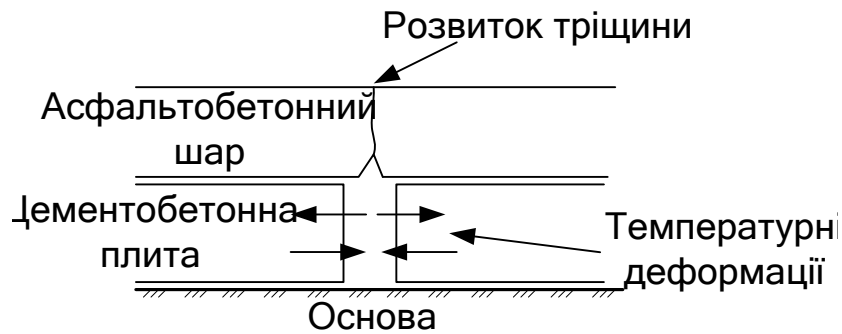


Рисунок 3.1 – Схема виникнення відображених температурних тріщин в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі від дії температурного деформування

Транспортне навантаження:

- розтягуючі напруження при вигині при положенні навантаження над і в стороні від тріщин в нижньому шарі;
- напруження зрізу, що викликаються утворенням «сходинки» в нижньому шарі при прикладанні навантаження осторонь від тріщин;
- нерівномірні вертикальні переміщення плит (у тому числі взаємні) при неякісному стані основи (просідання та перезволоження).

Під дією транспортного навантаження над стиком цементобетонних плит в асфальтобетонному шарі виникають деформації і напруження зсуву та згину (рис. 3.2).

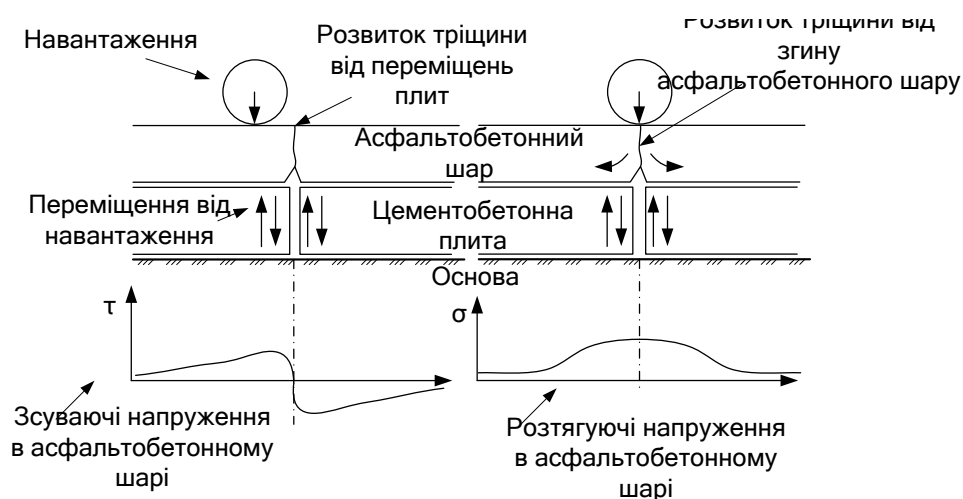


Рисунок 3.2 – Схема виникнення відображених тріщин в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі від дії транспортного навантаження

Завдяки циклічності температурного деформування і транспортного навантаження в асфальтобетонного шару над стиком цементобетонних плит поступово накопичуються втомні пошкодження, що призводить до формування відображеної тріщини над швом [13].

Для запобігання виникненню відображених тріщин в тонких асфальтобетонних шарах над стиком цементобетонних плит існує практика нарізання в асфальтобетоні деформаційних швів [14]. Таким чином покриття розрізається на плити, які працюють окремо [14]. Результати спостережень за дослідними ділянками автомобільних доріг підтверджують, що влаштування деформаційних швів дозволяє запобігти виникненню відображених тріщин в асфальтобетонному шарі [5, 6].

За літературними даними [11, 13, 15] встановлено, що основним видом пошкоджень асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті, окрім відображених тріщин, є розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити та колійність і зсуви асфальтобетонного покриття.

Наявність руйнувань асфальтобетонного покриття на жорсткій основі у вигляді розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити та колійності і зсувів асфальтобетонного покриття підтверджують і результати проведеного візуального та інструментального обстеження стану дорожнього одягу на автомобільних дорогах М-29 Харків – Красноград – Перещепине та М-03 Київ – Харків – Довжанський [5, 8, 9]. Встановлено, що значна частина асфальтобетонного покриття на дослідних ділянках не зазнала деформацій та руйнувань і має високі транспортно-експлуатаційними показники. Однак є ряд місць, що мають суттєві деформації та руйнування. Зафіксовано ділянки дорожнього одягу, на яких відбулося розшарування (відрив) асфальтобетонного покриття від цементобетонної основи (рис. 3.3, рис. 3.4) з подальшим руйнуванням покриття.

Причиною цього є те, що при незабезпеченому зчепленні асфальтобетонного шару та цементобетонної плити асфальтобетонний шар конструктивно працює окремо від жорсткої основи. До швидкого руйнування тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі при втраті зчеплення призводить горизонтальне навантаження від сил гальмування та тягової сили транспортних засобів. З урахуванням вище викладеного, перед влаштуванням

асфальтобетонного покриття на цементобетонних плитах, необхідно передбачити розлив бітумної емульсії для забезпечення зчеплення контакту шарів. Порядок перевірки міцності зчеплення на контакті асфальтобетонного шару та цементобетонної плити детально розглянуто в роботах [5, 6].



Рисунок 3.3 – Приклади розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити на автомобільній дорозі М-29 Харків – Красноград – Перещепине



Рисунок 3.4 – Приклади розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський

Окрім розшарування на дослідних ділянках автомобільних доріг М-29 та М-03 спостерігається утворення колії глибиною понад 30 мм. Виникнення колійності спостерігається в окремих місцях, в основному на ділянках підйомів та спусків (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 — Колія в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі на автомобільній дорозі М-29

Утворення колії відбувається у сукупності з випиранням асфальтобетонного покриття, що призводить до необхідності постійно змінювати швидкісний режим руху, внаслідок чого зростає витрата палива та забруднення навколишнього середовища. Наявні деформації і руйнування виникають при високих експлуатаційних температурах та свідчать про необхідність виконання перевірки міцності асфальтобетонного покриття на зсувостійкість.

Виходячи з аналізу конструктивних рішень влаштування асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, найпоширеніших деформацій і руйнувань притаманних асфальтобетонним шарам на цементобетонних плитах для умов Харківської області та факторів, що їх викликають, для зменшення забруднення придорожного простору при конструюванні та розрахунках на міцність асфальтобетонних шарів обов'язково потрібно врахувати, що:

- необхідно вживати конструктивних заходів для попередження відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах над швами цементобетонних плит, шляхом влаштування деформаційних швів в асфальтобетонному покритті над швами цементобетонних плит;

- необхідно конструктивно забезпечити надійне зчеплення контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити для попередження швидкого руйнування покриття;

- необхідно виконати перевірку зсувостійкості асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах.

3.2 Розрахунок зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі

В процесі експлуатації для асфальтобетонних шарів на жорсткій основі характерні колійність, напливи, зсуви. Всі перераховані деформації і руйнування виникають завдяки дії двох головних факторів: температурних напружень від зміни температурного режиму і зовнішнього навантаження.

Як відомо, при зміні температури навколишнього середовища асфальтобетонний шар і цементобетонна плита змінюють свої розміри. В той же час лінійні коефіцієнти температурного розширення асфальтобетону і цементобетону значно відрізняються і відрізняється їхній температурний градієнт [5, 6]. Оскільки модуль пружності, жорсткість та товщина у асфальтобетонного шару значно менше ніж у цементобетонної плити, то асфальтобетонний шар змушений деформуватися так як деформується цементобетонна плита. При цьому в асфальтобетонному шарі залишається нереалізована або вимушена деформація, що призводитиме до появи температурних напружень.

Температурні деформації і напруження в асфальтобетонному шарі на цементобетонній основі виникають коли відбувається зміна температури навколишнього середовища, а отже діють майже постійно, зменшуючись, або збільшуючись залежно від властивостей асфальтобетонного шару та температурного градієнту повітря і сонячної радіації.

Від дії зовнішнього навантаження асфальтобетонне покриття знаходиться у складному напружено-деформованому стані. Це пояснюється тим, що на покриття діє не тільки вертикальне навантаження, а і горизонтальна сила [16]. Горизонтальне навантаження виникає в наслідок тягових зусиль на ведучих колесах або гальмівної сили. Напруження більш за все залежать від властивостей дорожньої конструкції, режиму руху, часу дії навантаження і ваги транспортного засобу. При цьому на відміну від температурних напружень вони діють лише при наявності руху транспортних засобів. А температурні напруження виникають навіть за відсутності руху транспортних засобів. Тому, при проїзді транспортного засобу виникають напруження від зовнішнього навантаження, а асфальтобетонний шар вже до цього моменту

знаходиться в напруженому стані від дії температурних напружень.

Напруження від дії температури і зовнішнього навантаження можуть компенсувати одне одного або доповнювати. При розрахунку конструкції окремо на дію температурних напружень і окремо на дію зовнішнього навантаження можна забезпечити міцність конструкції і матеріалів. Але оскільки в реальних умовах можливе поєднання цих напружень, що посилюватиме руйнівну дію на конструкцію, то при розрахунках необхідно враховувати одночасність дії температурних напружень і зовнішнього навантаження.

Для контрольної оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття запропонована методика, аналогічна ТКП 45-3.03-3 [17]. Коефіцієнт запасу міцності по аналогії з ТКП 45-3.03-3 визначається за формулою:

$$\tau_{xz}^{Q,P} + \tau_{xz}^t \leq \frac{Ck + |\sigma| \times \operatorname{tg}\varphi}{K_3}, \quad (3.1)$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює 0,8;

C – внутрішнє зчеплення матеріалу, МПа;

σ – нормальне напруження, МПа;

$\operatorname{tg}\varphi$ – тангенс кута внутрішнього тертя матеріалу.

Для врахування комплексної дії транспортного навантаження та температурного деформування, на відміну від порядку розрахунку наведеного в ТКП 45-3.03-3 [17], слід визначати активні напруження від одночасної дії транспортного навантаження та температурного деформування.

3.3 Визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі

За умови забезпеченого зчеплення контакту асфальтобетонного шару і цементобетонної плити, зміна температури такої комбінованої плити, викликає однакові деформації цих шарів в зоні їх контакту [5, 6]. При цьому асфальтобетонний шар має меншу товщину і значно меншу жорсткість ніж цементобетонна плита, тому асфальтобетонний шар змушений деформуватися так само як

цементобетонна плита в основі. При зміні температури такої комбінованої плити в асфальтобетонному шарі виникають вимушені (нереалізовані) деформації і відповідні температурні напруження.

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі пропонується визначати за величиною нереалізованої температурної деформації з використанням інтегрального рівняння лінійної в'язко-пружності спадкового типу Больцмана-Вольтера, застосування якого обґрунтовано в роботах В.В. Мозгового, А.М. Онищенко, В.Ф. Невінгловського [18–20]:

$$\sigma_{a\bar{o}} = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau), \quad (3.2)$$

де $\sigma_{a\bar{o}}$ – температурні напруження в асфальтобетонному шарі, МПа;

$R(t-\tau)$ – функція релаксації асфальтобетонного покриття на жорсткій основі при температурі (t) , МПа;

τ – час, який передуює моменту спостереження;

$\varepsilon(\tau)$ – сумарна нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного покриття на жорсткій основі.

Нереалізована температурна деформація асфальтобетонного шару дорівнює різниці між деформацією при вільному подовженні $\varepsilon_{a\bar{o}}^e(\tau)$ (вільний контакт асфальтобетонного шару і цементобетонної плити) і фактичної деформації $\varepsilon_{a\bar{o}}^{\phi}(\tau)$:

$$\varepsilon_{a\bar{o}}^H(\tau) = \varepsilon_{a\bar{o}}^e(\tau) - \varepsilon_{a\bar{o}}^{\phi}(\tau), \quad (3.3)$$

Для прийнятої умови зчепленого контакту шарів температурна деформація асфальтобетонного шару $\varepsilon_{a\bar{o}}^{\phi}(\tau)$ і цементобетонної плити $\varepsilon_{y\bar{o}}^{\phi}(\tau)$ буде рівною, тому визначити фактичну відносну температурну деформацію асфальтобетонного шару можна за деформацією цементобетонної плити:

$$\varepsilon_{a\bar{o}}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{y\bar{o}}^{\phi}(\tau), \quad (3.4)$$

При переміщенні нижньої поверхні цементобетонної плити по

основі виникає сила тертя-зчеплення, яка заважає вільному подовженню плити (вільному температурному деформуванню плити) на величину $\varepsilon_{\text{цб}}^{mp}(\tau)$.

Від позacentрового прикладення на підшві плит зусиль тертя-зчеплення виникає напруження розтягу або стиску у верхній площині цементобетонної плити (при підвищенні температури будуть розтягуючі напруження, при зниженні температури – стискаючі). Ці напруження збільшують величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити на величину $\varepsilon_{\text{цб}}^{nu}(\tau)$.

Зміна температури за товщиною цементобетонної плити викликає появу напружень жолоблення. Напруження викликані жолобленням також змінюють величину вільної температурної деформації цементобетонної плити. Це пояснюється тим, що на цементобетонну плиту діють додаткові об'ємні сили викликані процесом жолоблення плити. Дія зазначених об'ємних сил викликана температурним перепадом по товщині плити та обмеженням викривлення плити за рахунок власної ваги плити. Напруження жолоблення зменшать величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити (при нагріванні конструкції зменшують деформації розтягу, при охолодженні зменшують деформації стиску) на величину $\varepsilon_{\text{цб}}^{jc}(\tau)$.

Величина підсумкового фактичного температурного деформування поверхні цементобетонної плити:

$$\varepsilon_{\text{цб}}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{\text{цб}}^e(\tau) - \varepsilon_{\text{цб}}^{mp}(\tau) + \varepsilon_{\text{цб}}^{nu}(\tau) - \varepsilon_{\text{цб}}^{jc}(\tau), \quad (3.5)$$

де $\varepsilon_{\text{цб}}^e(\tau)$ – відносна вільна деформація цементобетонної плити;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{mp}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку затримається вільна деформація за рахунок сил тертя-зчеплення на підшві плити;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{nu}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку зміниться відносна вільна деформація поверхні цементобетонної плити від позacentрового прикладання сил тертя-зчеплення;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{jc}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку зміниться відносна вільна деформація верхньої площини

цементобетонної плити від дії напружень жолоблення.

Детальний вивід формул для усіх складових відносної деформації з формули (3.5) розглянуто в роботах [5, 6, 21].

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі при нагріванні, з урахуванням формул (3.2) – (3.5) та робіт [5, 6], пропонується розраховувати за наступною формулою:

$$\sigma_{a\bar{o}} = \int_0^t R(t) \times \left[\left(\alpha_{y\bar{o}} \times \left[\Delta T_{y\bar{o}}^{cp*}(\tau) + \frac{1}{3} (\Delta T_{y\bar{o}}^e(\tau) - \Delta T_{y\bar{o}}^{cp*}(\tau)) \right] \right) - \left(\frac{(\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{y\bar{o}})}{E_{y\bar{o}}} \right) + \left(\frac{L \times (\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{y\bar{o}})}{h_{y\bar{o}} \times E_{y\bar{o}}} \right) - \left(\frac{2}{3} \times \alpha_{y\bar{o}} \times (T_{y\bar{o}}^e(\tau) - T_{y\bar{o}}^H(\tau)) \times m \right) - \alpha_{a\bar{o}} \times \left(\frac{\Delta T_{a\bar{o}}^e(\tau) + \Delta T_{a\bar{o}}^H(\tau)}{2} \right) \right] d\tau, \quad (3.6)$$

де $\alpha_{y\bar{o}}$ – температурний коефіцієнт лінійного розширення цементобетону, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta T_{y\bar{o}}^{cp*}(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) в середині цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta T_{y\bar{o}}^e(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) поверхні цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

ρ – питомий тиск на підшві плити, від ваги комбінованої плити і розрахункового автомобіля, МПа;

f – коефіцієнт тертя між цементобетонною плитою і основою;

c – зчеплення цементобетонної плити з основою, МПа;

$\mu_{y\bar{o}}$ – коефіцієнт Пуассона цементобетонної плити;

$E_{y\bar{o}}$ – модуль пружності цементобетонної плити, МПа;

L – довжина цементобетонної плити, м;

$T_{y\bar{o}}^e(\tau)$ – температура верха цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{y\bar{o}}^H(\tau)$ – температура низу цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

m – емпіричний коефіцієнт ступеню напруженості ($0 < m < 1$);

$\alpha_{a\delta}$ – температурний коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta T_{a\delta}^e(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) верху асфальтобетонного шару, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta T_{a\delta}^n(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) низу асфальтобетонного шару, $^{\circ}\text{C}$.

В напружено-деформованому стані комбінованої плити температурні напруження ($\sigma_{a\delta}$), що виникають завдяки нереалізованій температурній деформації асфальтобетонного шару, мають дві функції [5, 6]:

- по низу асфальтобетонного шару (в зоні контакту з цементобетонною плитою) вони є температурними дотичними напруженнями τ'_{xz} , τ'_{yz} ;

- на нижній площині асфальтобетонного шару вони є температурними горизонтальними напруженнями σ'_x , σ'_y .

3.4 Визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі

Проведено моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу ANSYS.

В якості жорсткої основи прийнято монолітну цементобетонну плиту обмежену температурними швами. Для цементобетонної плити прийнято, що її властивості не залежать від температури, вологості та тривалості дії навантаження.

При моделюванні прийнято умову забезпеченого зчеплення між асфальтобетонним шаром покриття та цементобетонною плитою. В розрахунковій моделі передбачено влаштування деформаційних швів в асфальтобетонних шарах над швами цементобетонних плит. Таким чином, конструкція дорожнього одягу, що розглядається являє собою комбіновані плити. Комбінована плита складається з цементобетонної плити в основі на пружному півпросторі, поверх якої влаштований асфальтобетонний шар з умовою зчеплення шарів.

Для розгляду розрахункової схеми та вибору моделі матеріалів скористуємося загальними методами рішення задач механіки деформованого твердого тіла. Матеріал цементобетону має структуру, яка складається з часток крупного (щебінь) і мілкого (пісок) заповнювача з'єднаних між собою цементним каменем. Уявлення про тіло, як про суцільне середовище, спрощує можливість математичного опису його поведінки. Матеріал цементобетону прийнятий як пружне, суцільне, однорідне та ізотропне тіло [22–24].

Параметри жорсткої основи, що впливають на напружено-деформований стан:

- товщина цементобетонної плити;
- модуль пружності цементобетонної плити;
- загальний (еквівалентний) модуль пружності основи під цементобетонними плитами.

Згідно з [16, 25–27] асфальтобетонний шар приймається як в'язко-пружне тіло, тобто деформується без залишкових деформацій але з урахуванням часу розвитку напружено-деформованого стану. Для прийнятого в дослідженні в'язко-пружного деформування повністю відкинуто таку властивість моделі тіла, як повзучість і розглядається в'язко-пружний діапазон [28].

Асфальтобетон приймається у вигляді твердого тіла, для якого характерна власна форма і здатність опиратися впливам зовнішніх навантажень [29]. Розміщення окремих структурних елементів в об'ємі асфальтобетонного шару носить достатньо випадковий характер, а розміри елементів мінерального скелета і оточуюче асфальтове в'язуче в порівнянні з розмірами асфальтобетонного шару достатньо малі. Тому при моделюванні можливо застосувати ідеалізацію реального матеріалу, при якому матеріал асфальтобетонного шару вважається квазіоднорідним [28].

Структурні елементи асфальтобетону розташовані в межах твердого тіла випадковим чином. Так само розподілені в об'ємі матеріалу макродефекти. З досліджень С.Д. Волкова, В.В. Болотного, Г.С. Писаренка відомо, що тіло, яке має макродефекти, можна розглядати як квазіоднорідну систему в межах її основи – матриці [28, 30].

Ідеалізація реального асфальтобетонного матеріалу стосовно його однорідності, суцільності та ізотропії не призводить до принципових помилок у розрахунках з використанням загальних рішень теорії пружності [5, 16, 31].

Проведення моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі від дії вертикального навантаження і горизонтальної сили виконано із використанням методу скінченних елементів.

При моделюванні використовувались моделі з трьох шарів, що складаються з асфальтобетонного шару та цементобетонної плити розташованій на пружній основі. Кожен шар моделі відрізняється модулем пружності, коефіцієнтом Пуассона та товщиною. Значення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона приймається в залежності від температури шару.

На поверхні моделі діє вертикальне навантаження та горизонтальна сила ($Q_v + P_r$) (рис. 3.6).

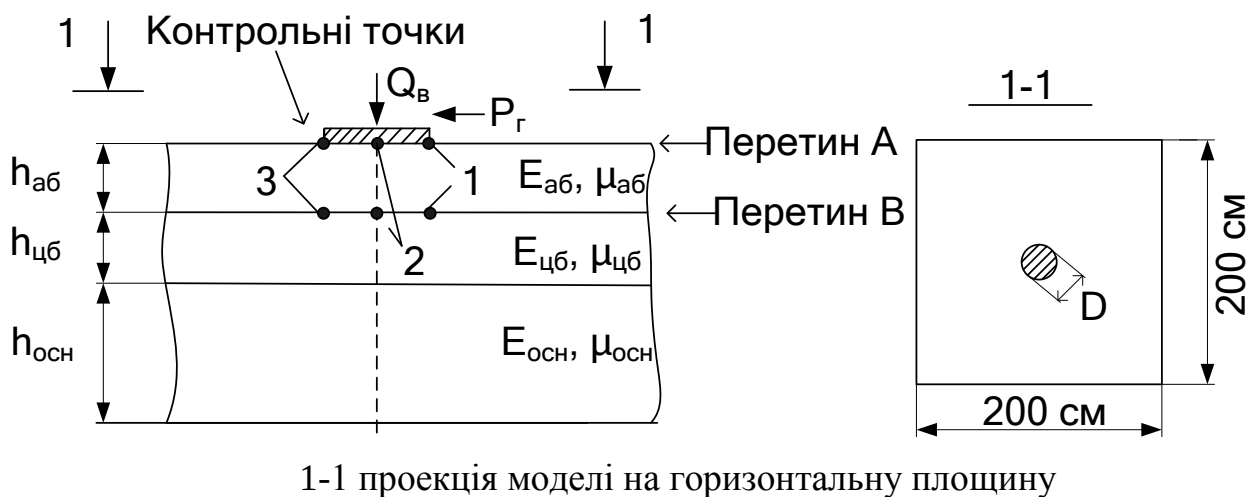


Рисунок 3.6 – Розрахункова модель асфальтобетонного шару на жорсткій основі

Статичне розрахункове навантаження групи A_2 згідно з ДБН В.2.3-4 [32] прикладається через круглий штамп, діаметр якого рівновеликий відбитку сліду колеса автомобіля, прийнято 34,5 см. Величина вертикального навантаження дорівнює 0,8 МПа, горизонтальна сила приймається в межах від 5 кН (прямолінійні ділянки) до 45 кН (екстремне гальмування).

3.5 Визначення напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження та температурного деформування

Конструкція дорожнього одягу знаходиться одночасно під впливом транспортного навантаження та температурного деформування, однак об'єднувати в одну розрахункову схему виникаючі реакції і зусилля від транспортного навантаження та температурного деформування некоректно. Це обумовлено тим, що час дії транспортного навантаження та температурного деформування значно відрізняється. Температурне деформування спостерігається протягом довго часу (години, доба). За цей час змінюються температура і властивості асфальтобетонного шару, тому при розрахунках температурних напружень виникає необхідність врахування релаксації напружень [33]. Транспортне навантаження діє значно менший проміжок часу (розрахунковий термін дії динамічного навантаження 0,1 с, статичного навантаження 600 с) ніж час температурного деформування. Необхідно взяти до уваги, що напружено-деформований стан асфальтобетону залежить від терміну дії навантаження або деформування [33].

Для визначення напружень, що виникають в комбінованій плиті від одночасної дії транспортного навантаження та температурного деформування, пропонується використовувати принцип суперпозиції Больцмана, виходячи з якого напруження, що виникають від впливу різних чинників, підсумовуються [34].

Згідно з принципом суперпозиції Больцман зазначає, що вплив отриманих в різний час деформацій підсумовується, тобто поєднується шляхом безпосереднього підсумовування [34]. Це положення принципу суперпозиції Больцмана для вирішення даного завдання використовувати некоректно, оскільки час дії деформації від транспортного навантаження (час дії близько 0,1 с) і час дії температурного деформування (час дії кілька годин або доба) значно відрізняються. В такому випадку, для сумарної деформації неможливо врахувати релаксацію напружень. Інший підхід у принципі суперпозиції Больцмана говорить, що напруження в точці тіла в певний момент часу залежить не тільки від напруження, що діє в даний момент часу, але і від напружень, що діяли в попередній

період часу. Отже, на напруження в будь-якій точці тіла в деякий момент часу впливають деформації, які діяли в усі попередні проміжки часу [34].

Деформації, які діють більший проміжок часу, надають менший вплив на напруження. Використання цього положення дає можливість, визначивши окремо напруження від дії транспортного навантаження та напруження від температурного деформування, встановити сумарні максимальні напруження, викликані спільною дією транспортного навантаження та температурного деформування (з урахуванням часу дії навантаження і змін властивостей асфальтобетону протягом цього часу) [5, 6, 33].

Оскільки в напружено-деформованому стані тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі температурні напруження мають дві функції (є дотичними напруженнями в тілі контакту шарів і горизонтальними напруженнями в тілі асфальтобетонного шару) то за прийнятим принципом суперпозиції враховувати їх необхідно окремо один від одного. Система рівнянь напруженого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від спільної дії зовнішнього навантаження і температурного деформування дозволяє визначити всі необхідні для розрахунку зсувостійкості складові, що залежать від навантажень:

$$\begin{aligned} \sum \sigma_z &= \sigma_z^{Q,P}; \quad \sum \tau_{xz} = \tau_{xz}^{Q,P} + \tau_{xz}^t; \\ \sum \tau_{yz} &= \tau_{yz}^{Q,P} + \tau_{yz}^t; \quad \sum \tau_{xy} = \tau_{xy}^{Q,P}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

де $\sigma_z^{Q,P}$, $\tau_{xz}^{Q,P}$, $\tau_{yz}^{Q,P}$, $\tau_{xy}^{Q,P}$ – напруження від дії транспортного навантаження, МПа;

τ_{xz}^t , τ_{yz}^t – температурні напруги, визначені за формулою 3.6, МПа.

3.6 Оцінка зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі для умов Харківської області

Оцінка зсувостійкості асфальтобетонного шару на жорсткій основі можлива лише за умови визначення температурних інтервалів в яких працює конструкція. Для цього, по

Харківській області, були зібрані дані по зміні температурі повітря протягом доби в найтепліших місяцях року протягом останніх 15 років. За зібраними температурами виконано моделювання добового коливання температури асфальтобетонного покриття на жорсткій основі.

Методику визначення добового перепаду температур по товщині конструкції дорожнього одягу прийнято на основі рішень Л.І. Горецького [35]. Температура поверхні асфальтобетонного покриття вдень [35]:

$$t_{аб}^{нов} = t_{нов}^{cp.max} + t_{екв} = t_{нов}^{cp.max} + \frac{\rho \cdot I_{cp.доб}}{a_m} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_n, \quad (3.8)$$

де $t_{нов}^{cp.max}$ – середньомісячна максимальна температура повітря, °С;

$t_{екв}$ – додатковий нагрів покриття за рахунок сонячної радіації, °С;

ρ – коефіцієнт поглинання;

$I_{cp.доб}$ – середньодобова інтенсивність сонячного випромінювання, ккал/м²·год·°С;

a_m – коефіцієнт теплопередачі, ккал/м²×год×град;

K_1 – коефіцієнт, що враховує послаблення сонячного випромінювання у будь-яку годину доби;

K_2 – коефіцієнт переходу від середньодобової інтенсивності сонячного випромінювання до інтенсивності на 12 годину;

K_n – коефіцієнт запилення (зниження інтенсивності сонячного випромінювання за рахунок пилоутворення).

Температура поверхні асфальтобетонного покриття вночі [35]:

$$t_{аб}^{пов} = t_{пов}^{cp.min} + t_{п.н}^{max}, \quad (3.9)$$

де $t_{нов}^{cp.min}$ – середньомісячна мінімальна температура повітря, °С;

$t_{п.н}^{max}$ – максимальне відхилення температури на поверхні покриття вночі від середньої температури повітря, °С;

$$t_{n.н.}^{max} = \frac{t_{нов}^{cp.max} - t_{нов}^{cp.min}}{2}. \quad (3.10)$$

Температура нижньої поверхні асфальтобетонного покриття вдень [35]:

$$t_{a\bar{o}}^h = t_{cm} + t_{n.д.}^{max} \cdot \exp(A_I \cdot B_I), \quad (3.11)$$

де t_{cm} – середньомісячна температура повітря, °С;

$t_{n.д.}^{max}$ – максимальне відхилення температури на поверхні покриття вдень від середньої температури повітря, °С.

$$t_{n.д.}^{max} = \frac{t_{нов}^{cp.max} - t_{нов}^{cp.min}}{2} + t_{екв} = \frac{t_{нов}^{cp.max} - t_{нов}^{cp.min}}{2} + \frac{\rho \cdot I_{cp.дооб}}{a_m} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_n, \quad (3.12)$$

$$A_I = -h_{a\bar{o}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot a_{a\bar{o}}}}, \quad (3.13)$$

$$B_I = \cos \left(\omega \cdot \tau - h_{a\bar{o}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot a_{a\bar{o}}}} \right), \quad (3.14)$$

де $h_{a\bar{o}}$ – товщина асфальтобетонного шару, м;

ω – кутова частота коливання температури, рад/год;

$a_{a\bar{o}}$ – температуропровідність асфальтобетону, м²/год;

τ – момент часу від початку періоду коливання, год.

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{24}. \quad (3.15)$$

Усю територію Харківської області за умовами роботи асфальтобетону, відповідно до класифікації наведеної у [32], можна розділити на дві групи за схожими температурними інтервалами нагріву асфальтобетонного покриття [36]:

- I група (район А3) з нагрівом покриття від 22 °С до 53 °С;
- II група (район А6) з нагрівом покриття від 22 °С до 55 °С.

Величини активних дотичних напружень на контакті шарів для різних груп визначено з врахуванням одночасної дії напружень від

транспортного навантаження та температурного деформування. Напруження від транспортного навантаження визначено для групи розрахункового навантаження A_2 згідно з ДБН В.2.3-4 та різних умов руху:

- рух на перегоні, горизонтальна сила 5 кН;
- рух на кривих в плані і поздовжньому профілі 11 кН;
- рух з екстремим гальмуванням 45 кН.

Результати оцінки зсувостійкості асфальтобетонного покриття з ЩМА на жорсткій основі (товщиною $\blacklozenge$ – 20 см, $\blacksquare$ – 24 см, $\blacktriangle$ – 28 см) для умов Харківської області наведено на рис. 3.7 – 3.12.

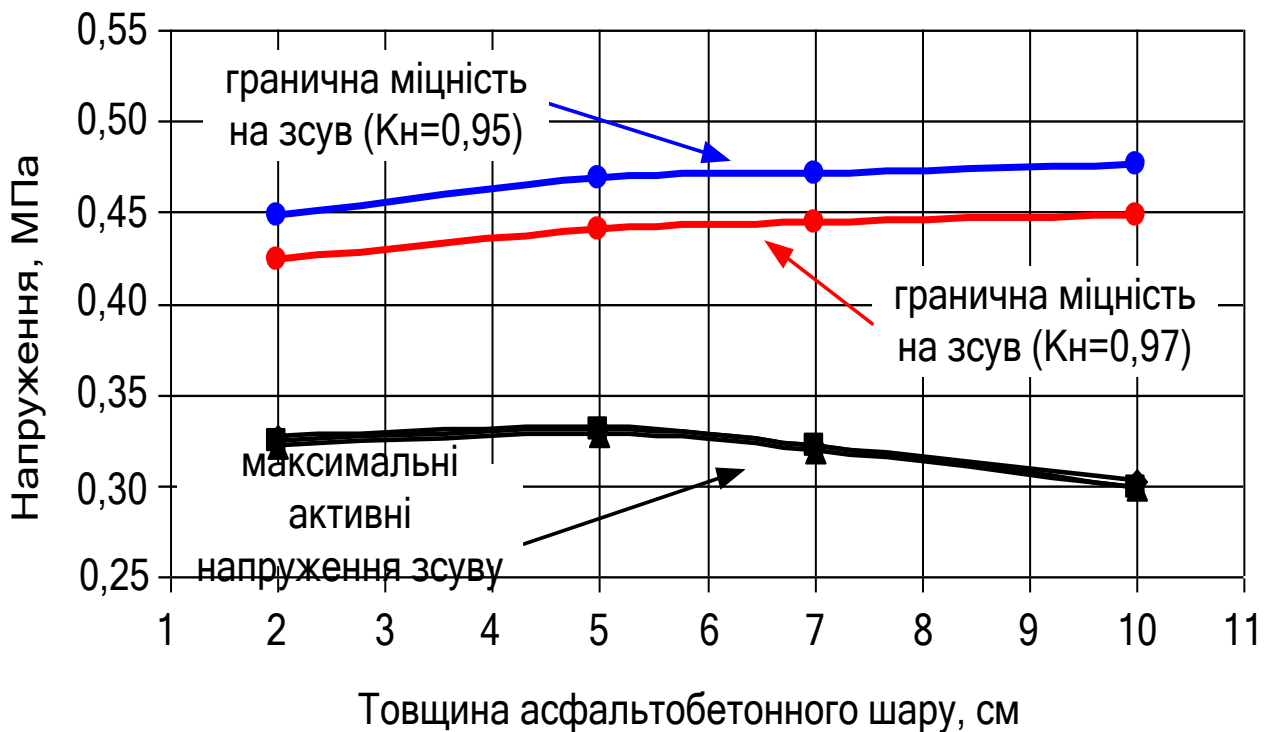


Рисунок 3.7 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на перегоні (горизонтальна сила 5 кН) в районі А3

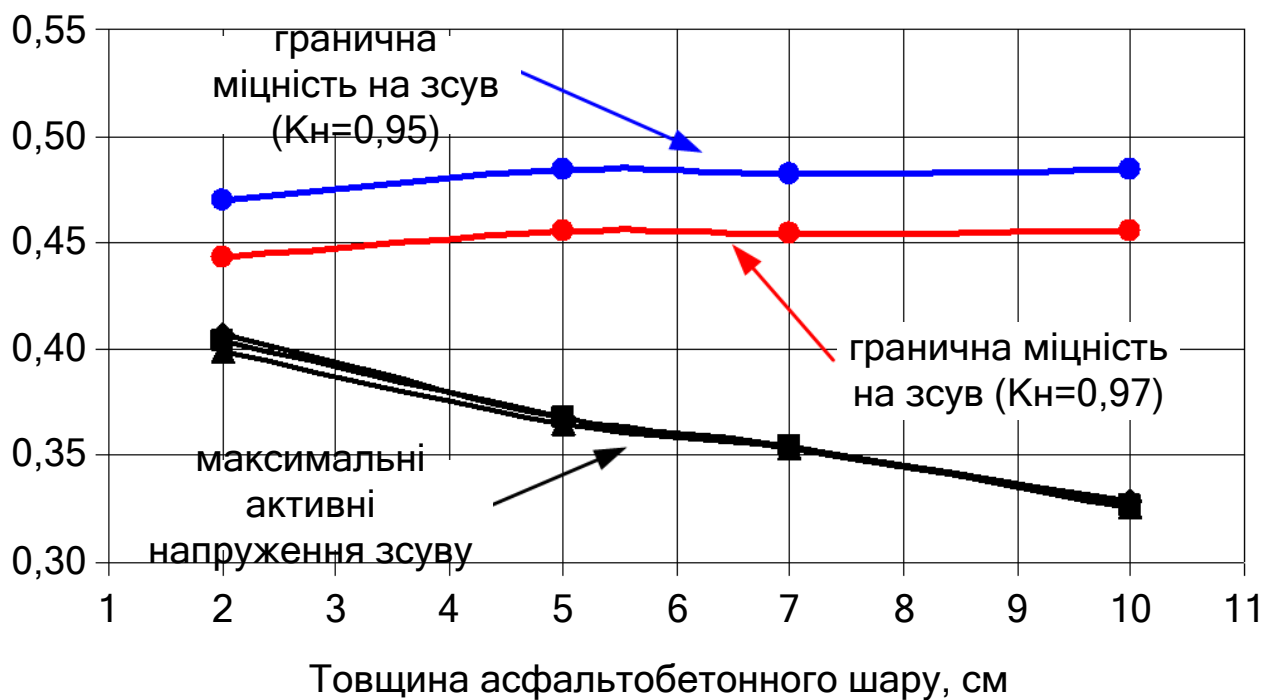


Рисунок 3.8 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на кривих в плані (горизонтальна сила 11 кН) в районі АЗ

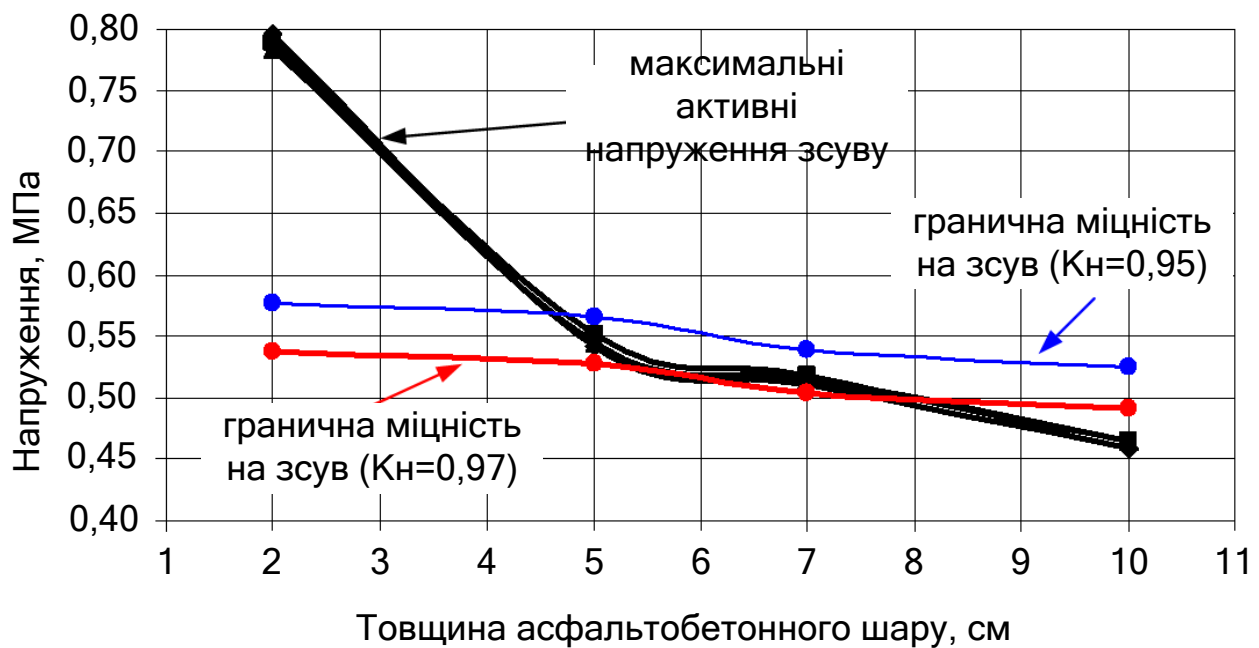


Рисунок 3.9 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов екстреного гальмування (горизонтальна сила 45 кН) в районі АЗ

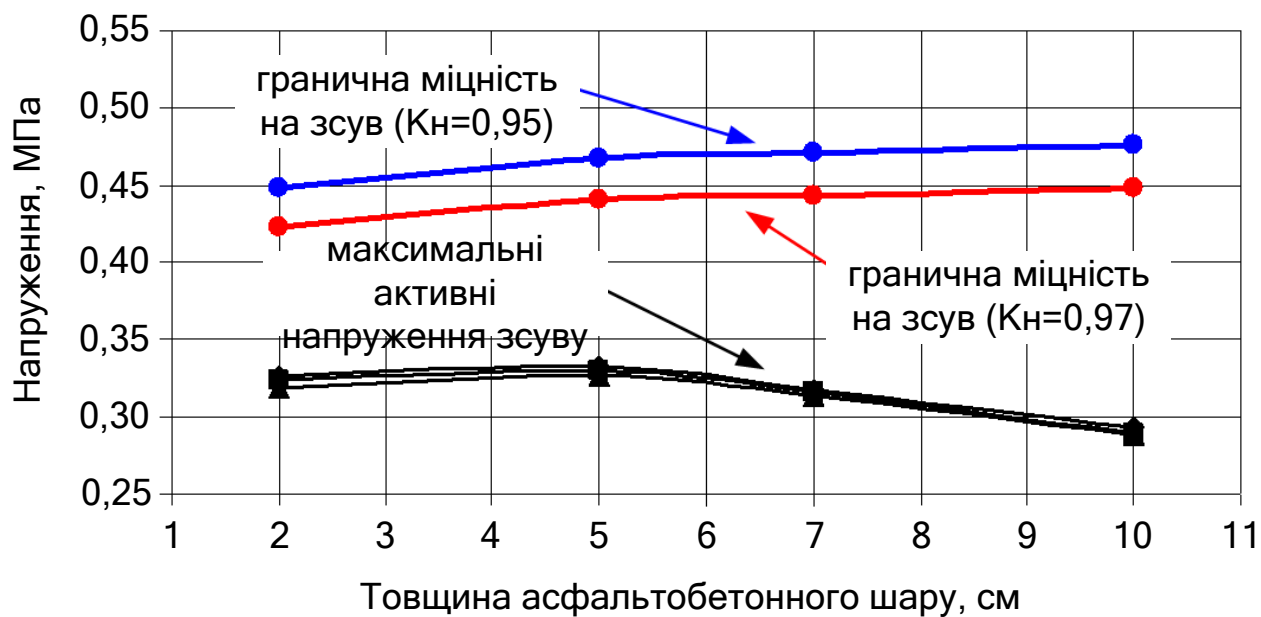


Рисунок 3.10 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на перегоні (горизонтальна сила 5 кН) в районі А6

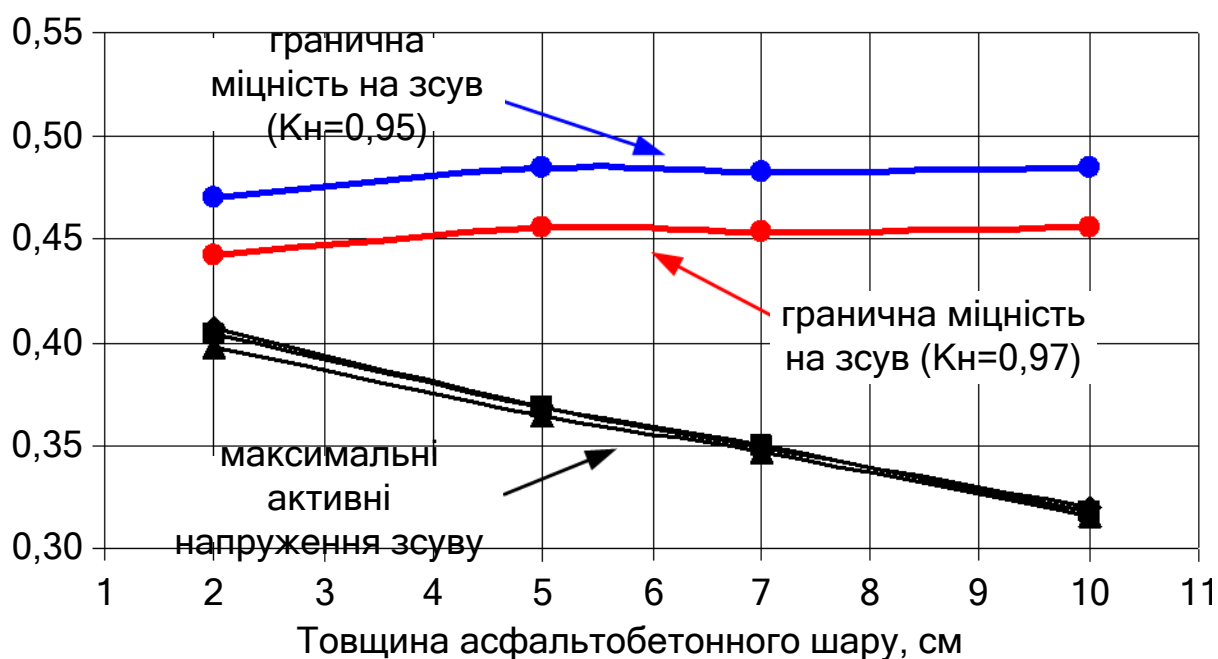


Рисунок 3.11 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху на кривих в плані (горизонтальна сила 11 кН) в районі А6

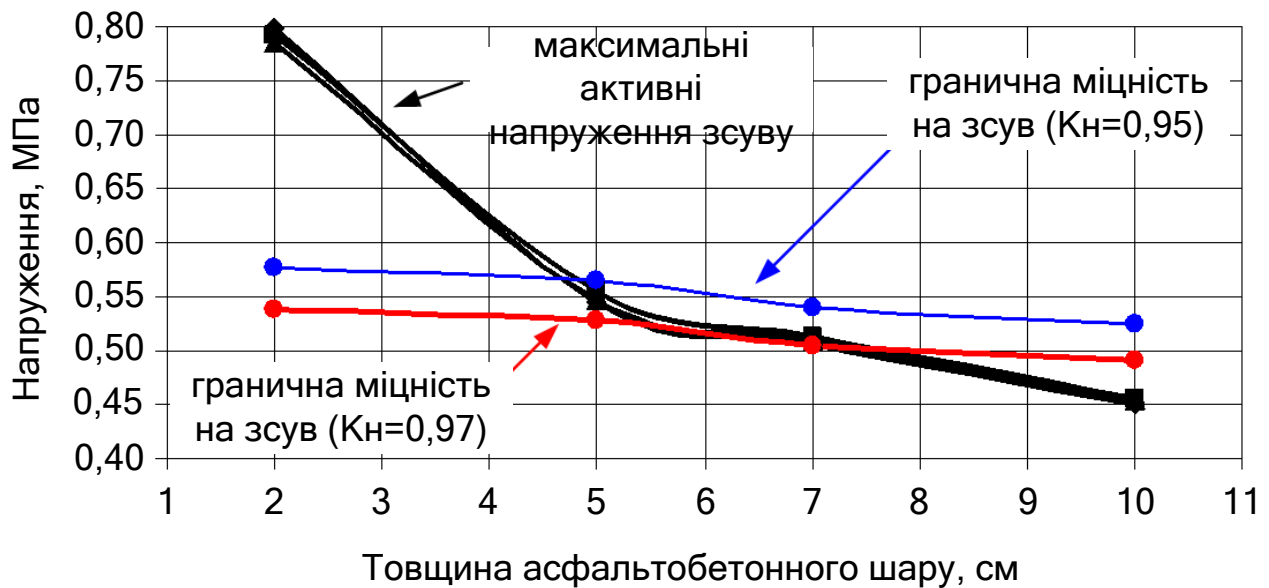


Рисунок 3.12 – Зсувостійкість асфальтобетонного шару для умов руху екстреного гальмування (горизонтальна сила 45 кН) в районі А6

Розроблені графіки дозволяють визначити мінімально необхідну товщину асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті з забезпеченою зсувостійкістю асфальтобетонного шару, для кліматичних умов Харківської області.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Аналіз найпоширеніших деформацій та руйнувань асфальтобетонних шарів на жорсткій основі дозволив обґрунтувати необхідність:

- вживання конструктивних заходів для попередження відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах над швами цементобетонних плит;
- конструктивно забезпечити надійне зчеплення контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити;
- виконання перевірки зсувостійкості асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах.

2. Запропоновано методику контрольної оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття на жорсткій основі, що дозволить:

- забезпечити рівність покриття;
- забезпечити рух зі сталою швидкістю, що вплине на загальні витрати пального.

3. В результаті моделювання добового коливання температури асфальтобетонного покриття на жорсткій основі для умов Харківської області за останні 15 років встановлено дві групи за схожими температурними інтервалами нагріву асфальтобетонного покриття:

- I група, (район А3 за умовами роботи асфальтобетонного покриття) з нагрівом покриття від 22 °С до 53 °С;
- II група (район А6 за умовами роботи асфальтобетонного покриття) з нагрівом покриття від 22 °С до 55 °С.

4. Проведене моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу ANSYS для умов розрахункового навантаження групи А₂ дозволило встановити величини активних напружень, що діють в асфальтобетонних шарах на жорсткій основі для наступних умов руху:

- рух на перегоні, горизонтальна сила 5 кН;
- рух на кривих в плані і поздовжньому профілі 11 кН;
- рух з екстремним гальмуванням 45 кН.

5. Встановлено мінімально необхідні товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі для різних умов руху, які необхідно передбачити при конструюванні в Харківській області для забезпечення зсувостійкості та рівності покриття.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галушко Т.И., Батракова А.Г. Повышение экологической безопасности на этапе проектирования автомобильных дорог // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2011. Вып. 52. С. 133 – 137.

2. Стороженко М.С., Аринушкина Н.С., Грищенко Т.М. Снижение воздействия на окружающую среду совершенствованием дорожно-транспортной системы // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2011. Вып. 52. С. 35 – 38.

3. Афиногенов О.П. Проектирование жестких дорожных одежд. Кемерово: Кузбассвуиздат. 2004. 227 с.

4. Корочкин А.В. Элементы теории и практики повышения технико-эксплуатационных показателей жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.11

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / Корочкин Андрей Владимирович. Москва. 2014. 386 с.

5. Дорошко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 Автомобільні шляхи та аеродроми / Дорошко Євген Вікторович. Харків. 2016. 280 с.

6. Батракова А.Г., Дорошко Є.В., Ряпухін В.М. Проектування асфальтобетонних покриттів на жорсткій основі. Частина 1. Методи розрахунку напружено-деформованого стану асфальтобетонних покриттів на жорсткій основі. Монографія. Харків: ХНАДУ. 2017. 124 с.

7. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення: ВБН В.2.3–218–532:2007. [Чинний від 2007–04–01]. Київ: Укравтодор. 2007. 19 с. (Національний стандарт України).

8. Капітальний ремонт автомобільної дороги Харків-Красноград-Перещепине на ділянці км 11+000 – км 74+800: Робочий проект – 3418-3427. Харківдiproшлях. Харків. 2006. 108 с.

9. Провести дослідження та розробити конструкції дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами армованими геосинтетичними сітками: звіт про НДР (заключний) / ДП «ДерждорНДІ»; керівн. С.К. Головка. № держреєстрації 0112U004743. Київ. 2013. 189 с.

10. Поточний ремонт об'їзної автомобільної дороги навколо міста Харків на ділянці км 472+713 – км 516+200: Проектно-кошторисна документація – 73-10/3770. Харків: Харківдiproшлях, 2010. 54 с.

11. Радовский Б.С. Опыт использования старого цементобетона как основания под асфальтобетонное покрытие в США // Дорожная техника: Каталог-справочник. Санкт-Петербург: Славутич. 2010. С. 20 – 32.

12. Леонович И.И., Мельникова И.С. Анализ причин возникновения трещин в дорожном покрытиях и критерии их трещиностойкости // Строительная наука и техника. 2011. №4. С. 37 – 41.

13. Опыт проектирования и строительства асфальтобетонных покрытий на основаниях из тощего бетона. Серия Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: обзорн. инф. / подгот. В.И. Басурманова, Л.Б. Каменецкий. Москва: ЦБНТИ. Вып №7. 1980. 29 с.

14. Рекомендації по влаштуванню асфальтобетонного покриття з деформаційними швами на основі з монолітного цементобетону: Р В.3.2-03450778-724:2013. [Чинний від 2013–11–19]. Київ: Укравтодор. 2013. 21 с.

15. Корочкин А.В., Ахметов С.А. Зависимость состояния покрытия от толщины асфальтобетонных слоев жесткой дорожной одежды // Автомобильные дороги. 2009. № 12. С. 27 – 29.

16. Арсеньєва Н.О. Удосконалення методу розрахунку нежорстких дорожніх одягів з урахуванням критерію міцності асфальтобетонних шарів на зсув: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Наталія Олександрівна Арсеньєва. Харків. 2014. 213 с.

17. Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов: ТКП 45-3.03-3-2004 (02250). [Действительный с 2004–12–08]. Минск: Минстройархитектуры. 2005. 54 с.

18. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. Киев. 1996. 406 с.

19. Невінгловський В.Ф. Метод розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Невінгловський Вадим Федорович. Київ. 2015. 196 с.

20. Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Гаркуша М.В. Методика забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі // Вісник донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2011. Вип. 1(87). С. 17 – 24.

21. Дорошко Є.В., Ряпухін В.М. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі // «Наукові нотатки»: міжвузівський збірник за галузями знань «Металургія і матеріалознавство». Луцьк, Луцький НТУ. 2014. Вип. 46. С. 147 – 153.

22. Xudong, Shengxing Wu., Jikai Zhou. Analysis of mechanical properties of concrete cores using statistical approach // Magazine of Concrete Research. 2013. Vol. 65. P. 1463 – 1471.

23. Шургая А.Г., Гамеляк И.П., Якименко Я.Н. Высокопрочный цементобетон с комплексными добавками для дорожного и аэродромного строительства // Автомобильные дороги и мосты. 2015. № 2 (16). С. 34 – 42.

24. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М. Математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 169. С. 103 – 110.

25. Babak, Golchin. Optimization in producing warm mix asphalt with polymer modified binder and surfactant-wax additive // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 141. P. 578 – 588.

26. Bennert T., Fee F., Sheehy E., R. Blight. Implementation of Performance-Based HMA Specialty Mixtures in New Jersey // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 2011. № 80. P. 719 – 758.

27. Dorozhko Y., Arsenieva N., Sarkisian H., Synovets O. Determining the most dangerous loading application point for asphalt-concrete layers on a rigid base // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 3, Issue 7-99. P. 36 – 43.

28. Ryapuhin V., Nechytyaylo N., Burlachka V. Criteria for flexible pavement calculation // TRANSBALICA 2011. Proceedings of the 7th International Scientific Conference. 2011. P. 252 – 256.

29. Ладыгин Б. И. Прочность и долговечность асфальтобетона / Наука и техника. Минск, 1970. С. 288.

30. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Наукова думка. Киев, 1976. С. 415.

31. Мерзликин А.Е. Капустников Н.В. Погрешности, возникающие при расчёте дорожных одежд с помощью метода конечных элементов // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 26 – 29.

32. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2015. [Чинний від 2016–04–01]. Київ: Мінрегіонбуд України. 2015. 109 с. (Національний стандарт України).

33. Дорошко Е.В. Расчет прочности тонких асфальтобетонных слоев, используемых при ремонте цементобетонных покрытий // Автомобильные дороги: безопасность и надежность, сборник докладов, часть 2, по материалам Международной юбилейной научно-технической конференции посвященной 90-летию Белорусской дорожной науки, Минск. 2018. С. 53 – 60.

34. Радовский Б.С., Телтаев Б.Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям. Алматы: «Білім баспасы». 2013. 152 с.

35. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия. Москва : Транспорт. 1965. 284 с.

36. Дорожко Є.В. Розрахунок зсувостійкості асфальтобетонного шару на жорсткій основі // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2017. № 100. С. 250 – 254.

Транспорт, поряд з іншими інфраструктурними галузями, є важливим інструментом досягнення соціальних, економічних, зовнішньополітичних та інших цілей, забезпечуючи підвищення якості життя людей. Без вирішення проблем у транспортній галузі неможливо домогтися корінних змін в економіці країни загалом [1-3].

Ефективне функціонування транспортної системи в значній мірі впливає на життя сучасного міста, його економічний розвиток і зростання. Досвід міст в країнах ЄС, Японії і США показує, що підвищення ефективності транспортної системи конкретного міста, є одним з основних аспектів для поліпшення комфортності і зручності проживання у містах. Економічні, екологічні і соціальні проблеми є наслідком неефективного управління міською транспортною системою. На сьогодні в Україні в дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) в середньому за одну добу гине близько 10 осіб, а в цілому за рік – до 5 тис. осіб [4]. Втрати від ДТП включають також економічну складову. Зокрема, відповідно до розрахунків Світового банку, економічні збитки України від дорожньо-транспортного травматизму сягають близько 5 млрд. дол. США, що становить до 4 % валового внутрішнього продукту на рік. Ця сума включає матеріальні витрати, пов'язані з пошкодженням майна та зниженням продуктивності праці, а також людські втрати через отримані внаслідок ДТП серйозні травми або смерть. Тому велика увага повинна бути звернена на організацію і наслідки роботи транспорту. Загальний стан безпеки дорожнього руху не повною мірою задовольняє очікування суспільства, що спонукає до втілення невідкладних заходів, спрямованих на вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням безпеки дорожнього руху і створенням безпечних та комфортних умов для всіх учасників дорожнього руху.

Стрімкий розвиток суспільства у всіх сферах життя обумовлює збільшення соціально-побутових і виробничих потреб населення міст, при цьому рухливість населення неухильно зростає, що призводить до її перерозподілу з міського масового пасажирського транспорту на

особистий. В цих умовах важливим є застосування таких методів організації та вдосконалення міських пасажирських перевезень, що будуть відповідати вимогам всіх учасників транспортного процесу.

На теперішній час в зарубіжних публікаціях все частіше приділяється увага впливу транспортної мережі, транспортної інфраструктури на функціонування міста та використання принципів логістики в системі міських перевезень, які направлені на системи перевезень пасажирів за рахунок синергії ефектів: економічного, екологічного, соціального тощо, що сприятимуть створенню безпечних та комфортних умов для всіх учасників дорожнього руху, зменшенню транспортної стомлюваності пасажирів, рівня екологічного забруднення навколишнього середовища (НС) і, як наслідок, позитивно впливатимуть на економічні та соціальні аспекти життєдіяльності людини.

З огляду на тенденцію розвитку та впровадження принципів логістики при організації міських пасажирських перевезень тема роботи є актуальною.

Мета дослідження полягає у адаптація логістичних принципів щодо управління системою міських пасажирських перевезень з урахуванням інтересів транспортних підприємств, пасажирів і екологічної складової транспортного процесу.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- аналіз принципів міської логістики (City Logistics) та основних принципів управління, що застосовуються до логістичних систем;
- адаптація основних логістичних принципів управління в системі міських пасажирських перевезень;
- застосування основних логістичних принципів управління в системі міських пасажирських перевезень;
- реалізація принципу стійкості та адаптивності системи;
- реалізація принципу управління якістю перевезень на міському пасажирському транспорті з урахуванням екологічної складової.

4.1 Аналіз основних принципів міської логістики (City Logistics)

Міська логістика є новим механізмом управління потоками об'єктів в умовах муніципального району. Огляд останніх публікацій [5-9] свідчить про те, що дослідження аспектів міської логістики, використання логістичних рішень при вдосконаленні роботи міського пасажирського транспорту (МПТ) є актуальним науковим та практичним напрямком.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій в області логістики, дозволяє визначити, що все частіше при вдосконаленні маршрутів перевезення вантажів і пасажирів в умовах великих міст використовуються логістичні принципи управління або принципи, що лежать в основі міської логістики (City Logistics) [10]. Це формування міських логістичних центрів та інтелектуальних транспортних систем, що вплинуть на економічний та екологічний ефект міської системи перевезення пасажирів і вантажів [11].

Метою міської логістики є задоволення потреб жителів міста; раціональна організація в просторі і в часі матеріального і соціального потоків; максимальна орієнтація усієї виробничо-господарської діяльності муніципальних підприємств на задоволення потреб населення [12].

До основних задач міської логістики відносять [12]:

- інтеграція міста в одне креативне ціле;
- раціоналізація матеріальних і соціальних потоків в муніципальному господарстві;
- максимізація завантаження виробничої потужності підприємств муніципального господарства;
- економія матеріальних ресурсів на всіх стадіях матеріального потоку; оптимізація витрат на виробництво та реалізацію готової продукції та послуг населенню.

Найважливішим елементом міських пасажирських транспортних систем є маршрутна система, що включає сукупність трас і потужностей маршрутів. Маршрутною система (МС) називають ув'язану територіально і в часі сукупність маршрутів всіх і окремих видів МПТ, що обслуговують міські пасажирські перевезення в межах заданої транспортної мережі [13]. Під територіальною ув'язаністю маршрутної системи розуміють узгоджене з об'ємами перевезень пасажирів розміщення на плані міста маршрутів якого-

небудь одного і різних видів МПТ, їх кінцевих зупинок, зупиночних пунктів і інших лінійних споруд. Під ув'язаністю у часі розуміється узгодження режимів роботи маршрутів у часі та розкладів руху транспортних засобів, які обслуговують різні маршрути [13].

Маршрутна система міського пасажирського транспорту повинна проектуватись, аналізуватись і оптимізуватись тільки системно. При інших рівних умовах МС визначає і рівень транспортного обслуговування населення, і економічні показники роботи транспортних підприємств. Тому транспортні підприємства організують систематичне вивчення МС і постійно коригують її для приведення у відповідність з об'ємами перевезень, що освоюються [13].

Вище сказане та основні вимоги до функціонування МС дозволяють адаптувати основні логістичні принципи до формування та управління МС МПТ.

В роботах [14–20] запропоновані принципи міської логістики, принципи логістики громадського МПТ та адаптація логістичного інструментарію до транспортних процесів. Однак не представлена маршрутна система, як окремо виділений елемент логістичної системи МПТ. Концептуальні положення обґрунтування сітілогістичних рішень з сформованою системою вдосконалення транспортного обслуговування населення міста та взаємозв'язком проблем сітілогістики та пасажирських перевезень представлено в роботі [5]. В роботі [17] сформовані основні вимоги до транспортної системи міста відповідно до принципів City Logistics: забезпечувати обслуговування всіх районів, де на транспортні послуги є попит; бути доступною для всіх груп населення; забезпечувати місцевий доступ до терміналів дальнього слідування; мати достатні перевізні можливості; мати задовільні якісні характеристики (швидкість, безпека, надійність, комфорт, екологічність); передбачати розумні витрати та тарифи; забезпечувати функціонування ефективної товаропровідної мережі по всьому місту та інше.

Вище сказане та основні вимоги до функціонування МС дозволяють адаптувати основні логістичні принципи до формування та управління МС МПТ [21, 22]: принцип управління якістю, принцип загальних витрат системи, принцип стійкості і адаптивності системи.

Принцип управління якістю – забезпечення надійності функціонування кожного елемента системи МПТ та забезпечення якості перевезень. До даного принципу можна віднести:

- безпеку всіх елементів системи МПТ для пасажирів, іншого транспорту та пішоходів, що забезпечується надійністю роботи ТЗ, дорожніх споруд, пристроїв регулювання руху та системи електропостачання МЕТ;

- зручність користування МПТ, що оцінюється розташуванням та обладнанням зупиночних пунктів, регулярністю руху, часом очікування транспорту, зручністю посадки та висадки пасажирів;

- витрати транспортного часу та транспортну стомлюваність пасажирів.

Принцип загальних витрат системи – врахування всієї сукупності витрат, що пов’язані з організацією транспортних послуг, а також з інформаційними та фінансовими витратами всієї системи. Тобто експлуатаційна економічність системи МПТ – мінімум капітальних та експлуатаційних витрат;

Принцип стійкості і адаптивності системи – гнучкість системи МПТ, її маневреність, тобто легка адаптація до зміни пасажиропотоків. Маневреність МПТ забезпечується:

- маневреністю ТЗ – можливість безперебійного продовження руху на маршруті при зупинці того чи іншого ТЗ за умови втрати його можливості до самостійного пересування;

- маневреністю транспортної мережі – мінімум витрат часу та коштів, що пов’язані з розширенням або зміною транспортної мережі або втрат, що пов’язані з її скороченням;

- маневреністю маршрутної системи – можливість оперативної зміни маршрутів, призначення тимчасових маршрутів;

- гнучкість системи організації руху – швидкість отримання інформації про фактичні величини пасажиропотоків і можливість оперативного втручання в процес перевезення з метою приведення його до відповідності з фактичними потребами населення в перевезеннях.

4.2 Реалізація принципу стійкості та адаптивності системи міського пасажирського транспорту

Розглянемо більш детально деякі аспекти принципу стійкості і адаптивності системи виходячи з застосування

логістичних принципів на міському пасажирському транспорті. З сучасних видів наземного МПТ найбільш маневреним є автобус та найменш – трамвай, виходячи з важкості зміни рельсової мережі та відсутності можливості обгону аварійних транспортних засобів (ТЗ) на лінії.

Тому при розробці маршрутної мережі та подальшому управлінні системою МПТ актуальним є питання ймовірності відмови в роботі трамвайних маршрутів. Розглянемо ситуації відмови в роботі трамвайних маршрутів з причини аварії ТЗ на маршруті, та можливості затору.

Розглянемо методику визначення ймовірності відмови в роботі маршруту внаслідок відмови транспортного засобу.

На маршруті працює n трамваїв, при відмові однієї одиниці робота маршруту зупиняється.

Маршрут працює, якщо всі транспортні засоби працюють (подія $\bar{T}$) та зупиняє свою роботу, якщо наступить хоча б одна подія T_i (аварія чи поломка i -го транспортного засобу), при цьому події T_i в сукупності є незалежними.

Імовірність відмови (аварії) i -го транспортного засобу

$$P(T_i) = p_i, \quad (4.1)$$

де p_i – імовірність відмови (аварії) i -го транспортного засобу.

Імовірність безвідмовної роботи i -го транспортного засобу

$$P(\bar{T}_i) = 1 - p_i = q_i, \quad (4.2)$$

де q_i – імовірність безвідмовної роботи i -го транспортного засобу.

Імовірність зупинки роботи маршруту

$$P(A) = 1 - P(\bar{T}) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (4.3)$$

де n – кількість транспортних засобів на маршруті.

Якщо на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови $p_i = p$, то ймовірність відмови маршруту можна визначити наступним чином

$$P(A) = 1 - (1 - p)^n. \quad (4.4)$$

Слід зазначити, що ймовірність події «один транспортний засіб не працює, інші працюють» можна визначити за формулою

$$P(B_i) = p_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - p_j). \quad (4.5)$$

З подальшим пошуком ймовірності появи тільки однієї з подій описується наступним чином

$$P\left(\sum_{i=1}^n B_i\right) = \sum_{i=1}^n p_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - p_j). \quad (4.6)$$

Розглянемо ситуацію, коли на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови $p_i = p$, при цьому розглянемо маршрути з $n = 5, \dots, 10$ од. Ймовірність відмови (аварії) i -го транспортного засобу p_i на реальних трамвайних маршрутах може приймати різні значення в залежності від низки факторів, що характеризують роботу трамвайних маршрутів.

Результати розрахунків наведені в табл. 4.1. З таблиці видно, що розрахунок ймовірності відмови маршруту $P(A)$ ведеться при варіюванні ймовірності відмови (аварії) i -го транспортного засобу p_i з шагом 0,02 доти доки $P(A)$ не буде дорівнювати 1.

Представлені залежності ймовірності відмови трамвайного маршруту (рис. 4.1) свідчать про те, що при збільшенні ймовірності відмови i -го ТЗ, ймовірність відмови маршруту значно швидше збільшується зі зростанням кількості ТЗ, що працюють на маршруті.

Таблиця 4.1 – Ймовірності відмови маршруту

Ймовірність відмови (аварії) i -го транспортного засобу p_i	Кількість транспортних засобів на маршруті (n)					
	5	6	7	8	9	10
0,100	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,65
0,120	0,47	0,54	0,59	0,64	0,68	0,72
0,140	0,53	0,60	0,65	0,70	0,74	0,78
0,160	0,58	0,65	0,70	0,75	0,79	0,83
0,180	0,63	0,70	0,75	0,80	0,83	0,86
0,200	0,67	0,74	0,79	0,83	0,87	0,89
0,220	0,71	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92
0,240	0,75	0,81	0,85	0,89	0,92	0,94
0,260	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95
0,280	0,81	0,86	0,90	0,93	0,95	0,96
0,300	0,83	0,88	0,92	0,94	0,96	0,97
0,320	0,85	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98
0,340	0,87	0,92	0,95	0,96	0,98	0,98
0,360	0,89	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99
0,380	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99
0,400	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99
0,420	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00
0,440	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
0,460	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,480	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,500	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00
0,520	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,540	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,560	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,580	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,600	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,620	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,640	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,660	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,680	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,720	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Надалі розглянемо методику визначення ймовірності відмови в роботі маршруту з урахуванням ймовірності затору на маршруті

В такому випадку ймовірність зупинки роботи маршруту можна визначити

$$P(A) = 1 - (1 - P_{затору}) \prod_{i=1}^n q_i = 1 - (1 - P_{затору}) \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \quad (4.7)$$

де n – кількість транспортних засобів на маршруті;

$P_{затору}$ – ймовірність виникнення затору на маршруті.



Рисунок 4.1 – Ймовірність зупинки роботи маршруту при різній кількості транспортних засобів ($n=5, 6, 7, 8, 9, 10$)

Якщо на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови $p_i = p$, то ймовірність відмови маршруту можна визначити наступним чином

$$P(A) = 1 - (1 - P_{затору})(1 - p)^n. \quad (4.8)$$

Виходячи з табл. 4.1 приймаємо ймовірність затору на трамвайному маршруті з відокремленим рухом рівною 0,05. Розглянемо ситуацію, коли на маршруті працюють однотипні транспортні засоби з рівними значеннями ймовірностей відмови $p_i = p$, при цьому розглянемо маршрути з $n = 5, \dots, 10$ од. Розрахунки представлені в табл. 4.2 та на рис. 4.2.

Таблиця 4.2 – Ймовірності відмови маршруту з урахуванням ймовірності затору $P_{затору} = 0,05$

Ймовірність відмови (аварії) i -го транспортного засобу p_i	Кількість транспортних засобів на маршруті					
	5	6	7	8	9	10
0,100	0,44	0,50	0,55	0,59	0,63	0,67
0,120	0,50	0,56	0,61	0,66	0,70	0,74
0,140	0,55	0,62	0,67	0,72	0,76	0,79
0,160	0,60	0,67	0,72	0,76	0,80	0,83
0,180	0,65	0,71	0,76	0,81	0,84	0,87
0,200	0,69	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
0,220	0,73	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92
0,240	0,76	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94
0,260	0,79	0,84	0,88	0,91	0,94	0,95
0,280	0,82	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96
0,300	0,84	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97
0,320	0,86	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98
0,340	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99
0,360	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99
0,380	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99
0,400	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
0,420	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00
0,440	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
0,460	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,480	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
0,500	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,520	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
0,540	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,560	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,580	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
0,600	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,620	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,640	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,660	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,680	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,720	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Як і для залежностей, що представлені на рис. 4.1, ймовірність відмови маршруту з урахуванням ймовірності затору $P_{затору} = 0,05$ (рис. 4.2) також значно швидше збільшується зі зростанням кількості ТЗ, що працюють на маршруті.



Рисунок 4.2 – Ймовірність зупинки роботи маршруту при різній кількості транспортних засобів ($n=5, 6, 7, 8, 9, 10$) та з урахуванням ймовірності затору $P_{затору} = 0,05$

4.3 Реалізація принципу управління якістю перевезень на міському пасажирському транспорті

Розглянемо детальніше деякі аспекти принципу управління якістю. А саме, зручність користування маршрутами міського пасажирського автотранспорту за рахунок зміни режиму руху на маршрутах і організації відповідного рівня безпеки.

Проведений аналіз методів вдосконалення процесу перевезень пасажирів на МПТ дозволив визначити, що одним з методів вдосконалення міських пасажирських перевезень є зміна маршрутної системи через впровадження експресних, комбінованих і швидкісних маршрутів [20, 21]. Аналіз методів формування комбінованого режиму руху на маршрутах МПТ показав, що вони базуються на: впровадженні комбінованого режиму руху за допомогою картограмного методу; принципі поліпшення якості обслуговування без погіршення показників роботи транспорту, за рахунок повного перебору можливих варіантів організації сполучення на маршруті на ЕОМ; критерії мінімуму сумарних витрат часу пасажирів на пересування; діагностуванні маршрутів на можливість впровадження комбінованого режиму руху, з обґрунтуванням гіпотези вибору

пасажиром виду сполучення [20, 21]. Дані методи в більшості своїй є трудомісткими в своїй реалізації, при цьому не в повній мірі відповідають потребам пасажирів. Основним недоліком наведених методів є те, що не розглядається проблема вибору режимів руху ТЗ на маршрутах, виходячи з інтересів пасажирів і транспортного підприємства. В роботі [23] запропоновано використання критерію оцінки ефективності експресних маршрутних перевезень пасажирів, який враховує соціально-економічні наслідки транспортного процесу. При оцінці екологічних характеристик транспортних засобів, які працюють на міських маршрутах у різних режимах руху треба враховувати, що при використанні пасажиром інших шляхів пересування при відмові від даного маршруту частіше складається ситуація, коли екологічна складова збільшується у 1,5 рази в порівнянні з використанням транспортних засобів, які працюють у звичайному режимі руху [23].

Розроблена в роботі модель оцінки ефективності організації експресних маршрутів міського автомобільного транспорту дозволяє мінімізувати сумарні витрати суспільства при визначених витратах транспортних підприємств. Запропонований в роботі підхід дозволяє визначити раціональне застосування комбінованого режиму руху на автобусних маршрутах міського пасажирського транспорту з урахуванням соціально-економічних наслідків транспортного процесу [23].

В роботі [18] розроблена та наведена логістична концепція безпеки дорожнього руху, що включає економічну безпеку, інформаційну безпеку, безпеку руху та фізичну охорону паркінгів. Наведена концепція є зв'язуючою ланкою в рамках створення комплексної системи безпеки муніципальних і промислових транспортних систем. Дана концепція визначає основні напрямки модернізації і розвитку існуючої системи безпеки руху, спрямована на застосування правил та розширення досліджень в області безпеки та скорочення ризиків для вразливих користувачів доріг. Особлива увага надається застосуванню інтегрованого підходу до користувачів доріг, транспортних засобів і дорожньої мережі з приділенням значної уваги регулюванню швидкості руху, проектуванню транспортних засобів і доріг.

В умовах зростання рівня автомобілізації Управлінням безпеки дорожнього руху фіксується значна кількість дорожньо-транспортних подій, при цьому відзначається не тільки збільшення їх кількості, але

й їх тяжкості [24]. Більшість ДТП з маршрутними транспортними засобами відбувається за участю автобусів, що рухаються міськими маршрутами. В існуючих умовах організації пасажирських перевезень у великих містах України основними причинами виникнення ДТП на комерційному автомобільному транспорті визначені: невідповідна швидкість руху, порушення правил маневрування, порушення правил проїзду перехресть, виїзд на смугу зустрічного транспорту [24, 25, 26], зупинка маршрутного автобуса на недозволених ділянках маршруту, незадовільний стан дорожніх умов у місці виникнення ДТП, а також незадовільний технічний стан транспортних засобів.

Тому поряд з удосконаленням технологій з організації пасажирських перевезень постає питання підвищення рівня безпеки та створення безпечних умов руху на шляхах слідування маршрутів МПТ.

На даний час в Україні й світі прийняті й діють низка документів, направлених на підвищення безпеки руху: резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Десятиріччя дій з забезпечення безпеки дорожнього руху на 2011-2020 р.; Транспортна стратегія України на період до 2020 року.

Аналіз аварійності є складовою частиною оцінки рівня безпеки дорожнього руху і має за мету створення інформаційного підґрунтя для розроблення заходів щодо поліпшення умов руху транспортних потоків [27].

Рівень безпеки руху на автомобільних дорогах характеризується інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності. Покращення дорожніх умов на найбільш небезпечних ділянках автомобільних доріг призведе не тільки до зменшення жертв та кількості ДТП, але покращить умови руху транспортних потоків, що є вигідним для економіки країни та суспільства загалом.

Соціальна та економічна ефективність має досягатися завдяки зменшенню рівня аварійності та, відповідно, втрат від ДТП (збереження життя та здоров'я людей, зменшення матеріальних збитків), а також покращенням зручності умов дорожнього руху [27].

Стан аварійності – це відносний показник, що характеризує кількість ДТП (чи кількість жертв від ДТП) за одиницю часу на одиницю виміру, або прогнозовану відносну їх кількість [27].

В роботі [27] для оцінки рівнів аварійності на автомобільних дорогах пропонується використовувати показники, що характеризують абсолютну аварійність:

- загальна кількість ДТП, у т.ч. ДТП з постраждалими;
- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених.

Показники, що характеризують відносну аварійність, є:

- кількість ДТП, загиблих та поранених на 10 тис. транспортних одиниць;
- кількість ДТП, загиблих та поранених на 100 тис. жителів;
- кількість ДТП на 10 тис. кілометрів, тощо.

Показники, що характеризують тяжкість наслідків є такі відносні показники:

- кількість загиблих на 100 ДТП;
- кількість поранених на 100 ДТП;
- кількість загиблих на 100 постраждалих;
- кількість загиблих на 10 тис. автомобілів;
- кількість постраждалих в ДТП на 10 тис. населення, тощо.

У роботі [28] здійснено класифікацію існуючих методів визначення аварійності і безпеки дорожнього руху, проведено детальний аналіз їх недоліків та переваг й наголошено про необхідність їх подальшого розроблення та удосконалення.

Оскільки рух міського пасажирського транспорту здійснюються по вулицям міста у загальному транспортному потоці, то при аналізі безпеки руху на маршрутах міських автобусних перевезень необхідно враховувати умови руху не тільки по маршруту, а також аварійну небезпечність на ділянках і вузлах вулично-дорожньої мережі міста, через які проходить маршрут. В роботі [29] запропоновано використовувати річну інтенсивність проїздів місць концентрації ДТП на маршруті як основну кількісну характеристику рівня безпеки руху на маршруті.

Також в роботі [29] запропоновано при проектуванні або експлуатації маршруту враховувати зміну розрахункових швидкостей ділянок доріг під час руху автобуса за маршрутом та оцінювати ступінь впливу зміни дорожніх умов на безпеку руху, використовуючи метод підсумкового коефіцієнта аварійності [30].

Таким чином, для оцінки аварійності при проектуванні та експлуатації маршрутів МПТ і подальшої розробки заходів з

підвищення безпеки руху пропонується використовувати наступні методи та показники:

– топографічний аналіз – для виявлення місць концентрації ДТП, який полягає в прив'язці місць скоєння пригод до карти або схеми досліджуваної території [31]. Вважають, що при наявності трьох або більш ДТП за рік, місце скоєння ДТП можна віднести до місця концентрації;

– підсумковий коефіцієнт аварійності $K_{авар}$ – оцінка впливу умов руху на трасі маршруту на безпеку руху, виявлення найбільш аварійних ділянок маршруту, оцінка ефективності заходів з усунення підвищеної небезпеки руху на окремих ділянках [28, 30]. Визначається за формулою:

$$K_{авар} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.9)$$

де $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n$ – окремі коефіцієнти аварійності.

Коефіцієнт відносної аварійності (K_a) з урахуванням середньодобової інтенсивності руху транспортних потоків – дає числові показники та можливість визначення порівнянних даних при аналізі безпеки дорожнього руху (ДР) з урахуванням інтенсивності транспортного потоку (ТП) і / або довжини ділянок доріг [29, 31]. Для ділянки магістралі визначається за формулою:

$$K_a = \frac{10^6 \cdot \sum n_{ДТП}}{365 \cdot N \cdot L}, \quad (4.10)$$

де $\sum n_{ДТП}$ – загальна кількість ДТП за розглянутий період (рік), од.;

N – середньодобова інтенсивність руху, авт./доб.;

L – довжина ділянки магістралі (траси маршруту), км.

Для локальної ділянки (перехрестя) визначається за формулою:

$$K_a = \frac{10^6 \cdot k_n \cdot \sum n_{ДТПi}}{365 \cdot N_i}, \quad (4.11)$$

де $\sum n_{д т i}$ – загальна кількість ДТП на i -му перехресті за розглянутий період (рік), од.;

k_n – коефіцієнт добової нерівномірності руху, $k_n = 0,1$ [31];

N_i – добова інтенсивність руху на i -му перехресті, авт./доб.

Коефіцієнт важкості ДТП (K_T) – враховує кількість загиблих і поранених при ДТП, характеризує наслідки ДТП [31], визначається за формулою:

$$K_T = \frac{n_3}{n_n}, \quad (4.12)$$

де K_T – коефіцієнт важкості;

n_3 – кількість загиблих в ДТП за розглянутий період, од.;

n_n – кількість поранених в ДТП за розглянутий період, од.

Важкість наслідків від ДТП також може бути охарактеризована відношенням кількості загиблих або поранених до загальної кількості ДТП [31]:

$$k'_e = \frac{n_3}{n_{заг}}, \quad (4.13)$$

$$k''_e = \frac{n_n}{n_{заг}}, \quad (4.14)$$

де $n_{заг}$ – загальна кількість ДТП за розглянутий період, од.

$$k'''_e = \frac{n_n + n_3}{n_{заг}}. \quad (4.15)$$

Для оцінки ступеня небезпеки для учасників дорожнього руху і можливого матеріального збитку, використовують показник безпеки для конкретного місця на транспортній мережі (V_o), запропонований Ф. Рейнгольдом [30, 31] – визначення найбільш небезпечних місць, шляхом врахування важкості окремих ДТП [28], але цей показник не

враховує інтенсивність руху і розрахований на коротку ділянку мережі:

$$V_o = p_0 n_0 + p_1 n_1 + p_2 n_2 + p_3 n_3, \quad (4.16)$$

де n_0, n_1, n_2, n_3 – кількість ДТП з матеріальним збитком, з легким пораненням людей, з важким пораненням, з загибеллю людей, од.;

$p_0 = 1, p_1 = 5, p_2 = 70, p_3 = 130$ – відповідно умовні коефіцієнти важкості наслідків.

Оцінка безпеки руху на перехрестях за методикою оцінки чисельного показника конфліктності (K_a) (запропонована Лобановим Є.М.) [32] – враховує небезпеку конфліктних точок, яка залежить від інтенсивності конфліктуючих потоків, умов видимості для водіїв, стану покриття проїзної частини дороги і траєкторії маневру [28], а також враховує кількість ДТП з пішоходами [32].

Ступінь небезпеки кожної i -ої конфліктної точки регульованого перехрестя [32]:

$$g_i = K_i \cdot M_i \cdot N_i \cdot 10^{-2}, \quad (4.17)$$

де K_i – відносна аварійність (небезпека) i -ої конфліктної точки, ДТП / 10^6 авт.;

N_i, M_i – інтенсивності потоків, що перетинаються, у даній точці, авт./год.

Загальна кількість ДТП на перехресті за рік [32]:

$$G = G_p + G_{\Pi}, \quad (4.18)$$

де G_p – можлива кількість ДТП на перехресті за рік без урахування ДТП із пішоходами, од.;

G_{Π} – можлива кількість ДТП із пішоходами на перехресті за рік, од.

Ступінь небезпечності перехрестя (K_a), яким оцінюють рівень забезпечення безпеки руху на перехресті розраховують за формулою [32]:

$$K_a = \frac{G \cdot K_p \cdot 10^7}{25 \cdot (M + N)}, \quad (4.19)$$

де G – загальна кількість ДТП на перехресті за рік, од.;

K_p – коефіцієнт річної нерівномірності руху;

N , M – добові інтенсивності руху на дорогах, що перетинаються на перехресті, авт./доб.

Аналіз умов руху і аварійності, безпосередньо пов'язаної з маршрутними засобами МПТ, та на шляхах слідування маршрутів, дозволить:

- провести комплексний аналіз основних показників аварійності на ділянках транспортної мережі міста, перехрестях та зонах зупиночних пунктів, по яких проходять маршрути міського пасажирського транспорту та встановити закономірності їх зміни;
- оцінити соціально-економічні збитки від травмування людей і пошкодження транспортних засобів у ДТП;
- визначити економічну ефективність реалізації заходів з підвищення безпеки дорожнього руху;
- розробити практичні рекомендації щодо вдосконалення системи безпеки дорожнього руху на міських маршрутах пасажирського транспорту.

Основними видами наземного МПТ в Україні є трамвай, тролейбус та автобус.

За даними Міністерства інфраструктури України за період 2015-2017 рр. найбільша кількість ДТП, які сталися на маршрутах руху автомобільного транспорту загального користування, сталися саме на міських маршрутах і їх кількість з кожним роком зростає: 2015 р. – 70,0 %; 2016 р. – 75,1 %; 2017 р. – 80,3 % [33, 34, 35].

Зростання кількості та важкості наслідків ДТП спостерігається і на міському електричному транспорті. Кількість ДТП за участю транспортних засобів підприємств міського електричного транспорту в Україні у 2016 р. збільшилася на 6,5 % в порівнянні з 2015 р., в 2017 р. – на 85,5 % порівняно з 2016 р. Також у 2017 р. кількість

загиблих осіб збільшилася на 18,2 % та кількість травмованих осіб збільшилася на 30,8 % в порівнянні з 2016 р. [33, 34, 35].

Проблему забезпечення безпеки руху на вулицях і дорогах, слід розглядати як складну систему, що складається з певних елементів:

- скорочення кількості та тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод (ДТП) (соціальний аспект);
- зменшення часу затримок руху на вулицях і дорогах, пов'язаних зі скоєнням ДТП (соціальний аспект);
- оцінка соціально-економічних втрат від ДТП (економічний аспект);
- оцінка економічного ефекту від впровадження заходів з підвищення безпеки руху (економічний аспект);
- координація діяльності різних підприємств і організацій (організаційний аспект);
- технічні можливості розробки та проведення різноманітних заходів (технічний аспект).

Згідно статистичних даних за період 2016-2017 рр. за участю транспортних засобів МПТ у Харкові було скоєно 1360 ДТП: у 2016 р. – 667; у 2017 р. – 693.

Порівнюючи кількість ДТП на окремих видах транспорту за період 2016-2017 рр., можна відмітити збільшення аварій на 12,9 % і 0,4 % за участю трамваїв та автобусів відповідно, і зменшення аварій на 3,1 % за участю тролейбусів (рис. 4.3)

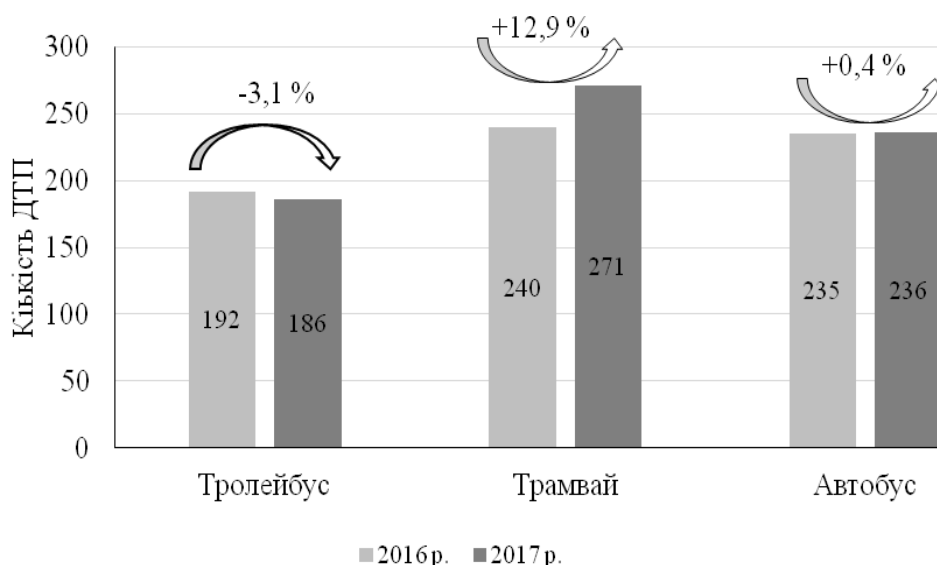


Рисунок 4.3 – Кількість ДТП за видами міського пасажирського транспорту у 2016-2017 рр. (м. Харків)

Аналіз розподілу ДТП між видами транспорту показав, що найбільша кількість аварій, як у 2016 р., так і у 2017 р. відбулася за участю трамваїв, а найменша – за участю тролейбусів (рис. 4.4).

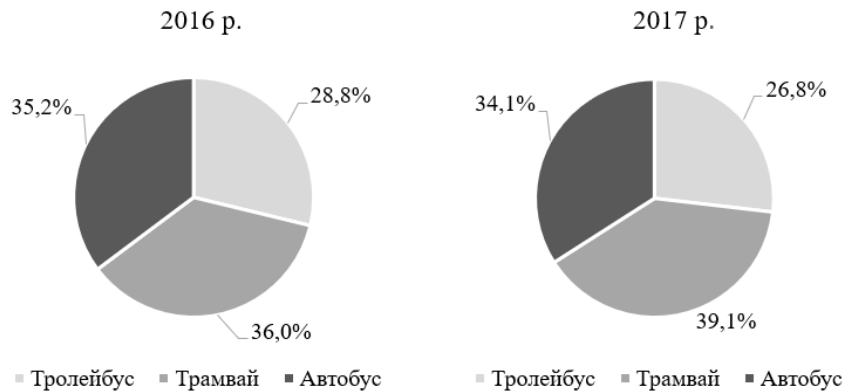


Рисунок 4.4 – Розподіл ДТП за видами транспорту

Абсолютні показники аварійності на окремих видах міського пасажирського транспорту (рис. 4.5–4.7) свідчать про збільшення поранених (травмованих) осіб у ДТП за участю тролейбусів (+ 29,0 %) і трамваїв (+ 7,1 %), а також про зменшення у ДТП за участю автобусів (- 38,9 %).

Кількість загиблих осіб у 2017 р. порівняно з 2016 р. зменшилась на маршрутах трамвая і автобуса – на 66,7 % і на 18,2 % відповідно та не змінилась на маршрутах тролейбуса.

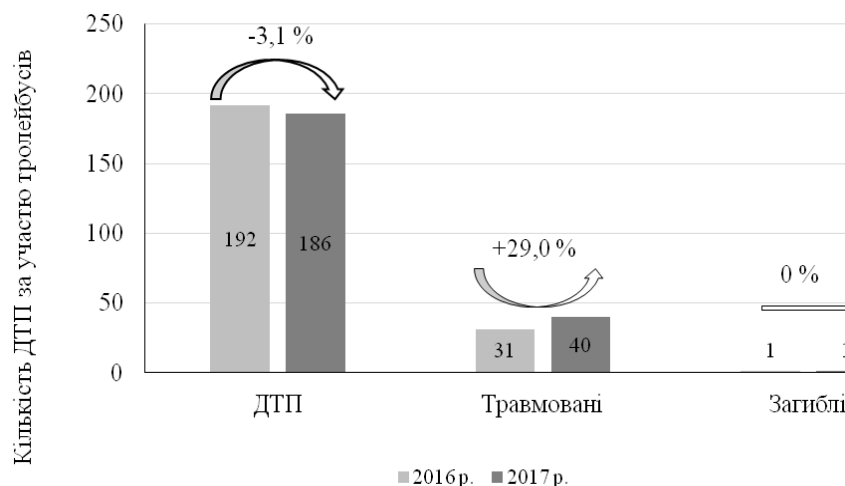


Рисунок 4.5 – Абсолютні показники аварійності на маршрутах тролейбусу

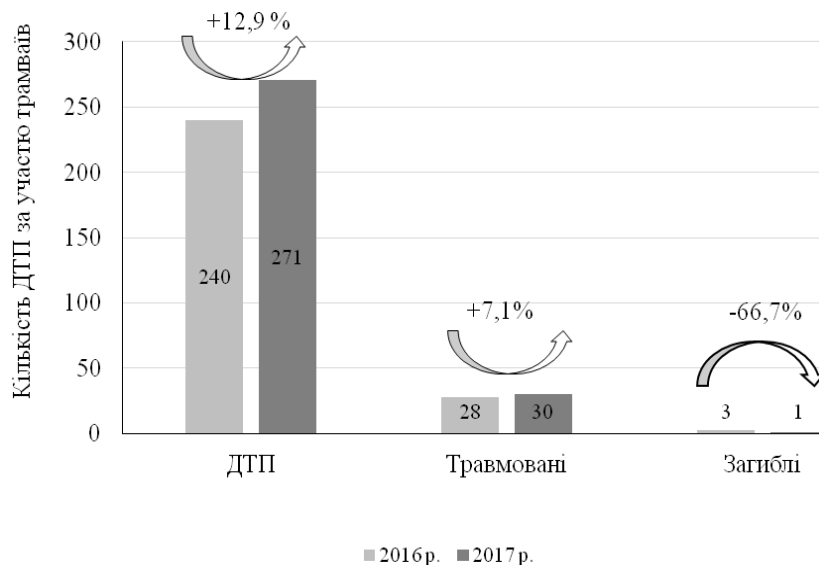


Рисунок 4.6 – Абсолютні показники аварійності на маршрутах трамвая

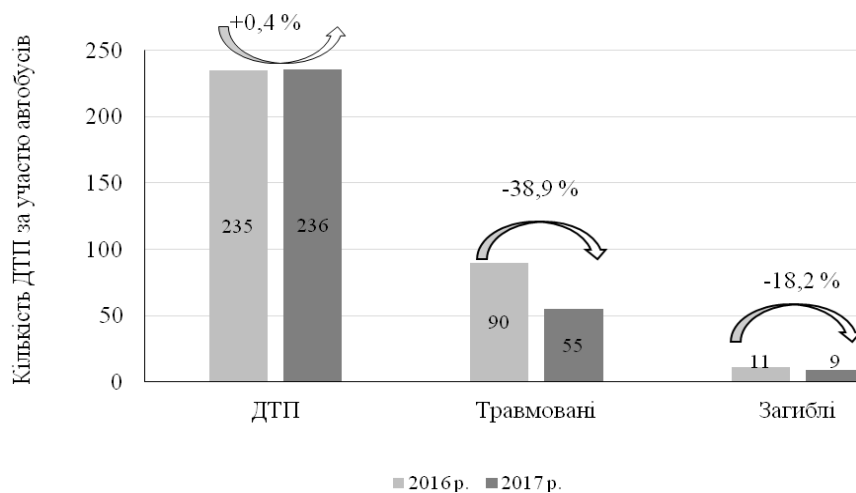


Рисунок 4.7 – Абсолютні показники аварійності на маршрутах автобусу

У результаті аналізу відносних показників, що характеризують тяжкість наслідків, на всіх видах міського пасажирського транспорту зокрема і в цілому виявлена тенденція до зниження їх значень, крім деяких показників: кількість поранених (травмованих) на 100 ДТП за участю тролейбусів збільшилась з 16,15 до 21,51 (на 33,2 %) та кількість загиблих на 100 постраждалих на автобусних маршрутах міста збільшилась з 10,89 до 14,06, що складає 29,12 % і свідчить про підвищення небезпеки на маршрутах (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 – Показники, що характеризують тяжкість наслідків ДТП за участю міського пасажирського транспорту (м. Харків)

Назва показника	Кількісні значення показника	
	2016 рік	2017 рік
Тролейбус		
Загальна кількість ДТП	192	186
– кількість поранених на 100 ДТП	16,15	21,51
– кількість загиблих на 100 ДТП	0,52	0,54
– кількість загиблих на 100 постраждалих	3,13	2,44
Трамвай		
Загальна кількість ДТП	240	271
– кількість поранених на 100 ДТП	11,67	11,07
– кількість загиблих на 100 ДТП	1,25	0,37
– кількість загиблих на 100 постраждалих	9,68	3,23
Автобус		
Загальна кількість ДТП	235	236
– кількість поранених на 100 ДТП	38,30	23,31
– кількість загиблих на 100 ДТП	4,68	3,81
– кількість загиблих на 100 постраждалих	10,89	14,06
Міський пасажирський транспорт		
Загальна кількість ДТП	667	693
– кількість поранених на 100 ДТП	22,34	18,04
– кількість загиблих на 100 ДТП	2,25	1,59
– кількість загиблих на 100 постраждалих	9,15	8,09

ДТП на вулицях міста дуже часто є причиною затримки руху, зниження швидкості, виникнення заторів, тимчасової зміни маршрутів слідування (об'їзд місця скоєння ДТП), збільшення часу поїздки. Причому, причинами затримки на маршрутах МПТ можуть бути аварійні ситуації як за участю транспортних засобів МПТ, так і з іншими транспортними засобами.

В залежності від виду скоєного ДТП та важкості його наслідків змінюється час оформлення події, а отже, і час затримки руху. Згідно зі статистичними даними середній час затримки, пов'язаної з ДТП на МПТ складає 1 годину 10 хв.

Аналіз ДТП за участю транспортних засобів МПТ виявив, що найбільш поширеним видом є «зіткнення». На всіх видах транспорту питома вага цього виду найбільша: тролейбус – 88,02 %; трамвай – 91,25 %; автобус – 82,13 % (рис. 4.8–4.10).

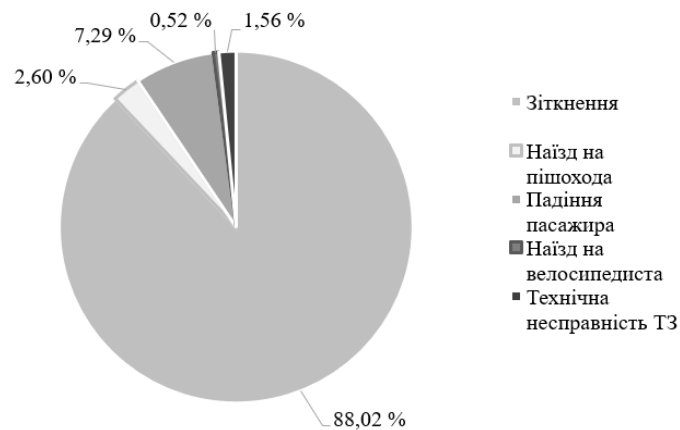


Рисунок 4.8 – Види ДТП за участю тролейбуса (2016 р.)

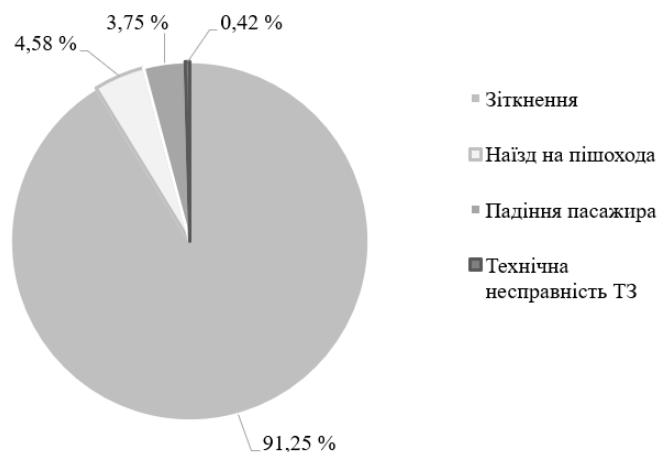


Рисунок 4.9 – Види ДТП за участю трамвая (2016 р.)

З точки зору забезпечення безпеки руху на маршрутах МПТ однією з головних задач є безпека пасажирів, яку слід розглядати у декількох аспектах:

- безпечний підхід до зупинки міського пасажирського транспорту;
- безпечний процес посадки/висадки на зупинці;
- безпека у салоні транспортного засобу під час здійснення поїздки по маршруту.

Але «падіння пасажирів» досить значний за питомою вагою вид ДТП: на маршрутах тролейбусу – 7,29 %; на маршрутах трамвая – 3,75 %; на автобусних – 2,55 % (рис. 4.8–4.10).

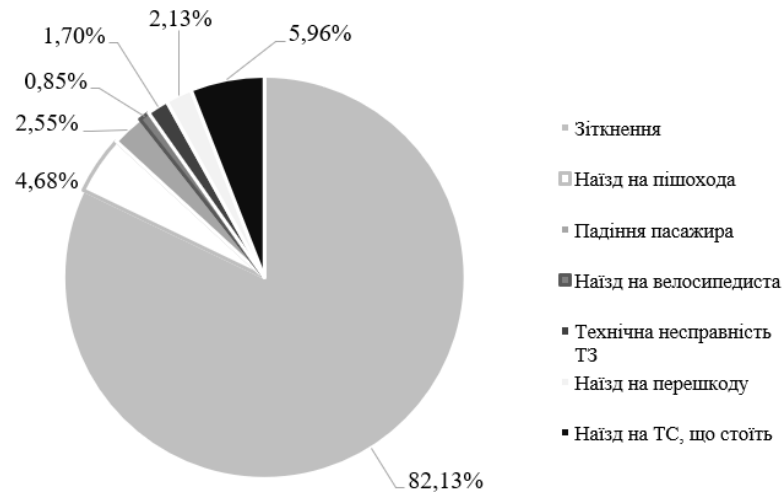


Рисунок 4.10 – Види ДТП за участю автобусу (2016 р.)

Аналіз статистичних даних за наявністю затримки руху після скоєння ДТП виявив, що, виходячи з особливостей виду транспорту, його низької маневреності, велика кількість ДТП за участю трамвая є причиною затримки руху на маршрутах: у 2016 р. – 96,67 % від загальної кількості ДТП, в 2017 р. – 88,93 % (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Питома вага ДТП без затримки та ДТП з затримкою руху за участю трамвая

Більш висока маневреність тролейбусу забезпечила зниження кількості ДТП з затримкою руху: у 2016 р. – 32,81 % від загальної

кількості ДТП, в 2017 р. – 30,11 % (рис. 4.12), що значно зменшує час простою транспортних засобів і пасажирів.

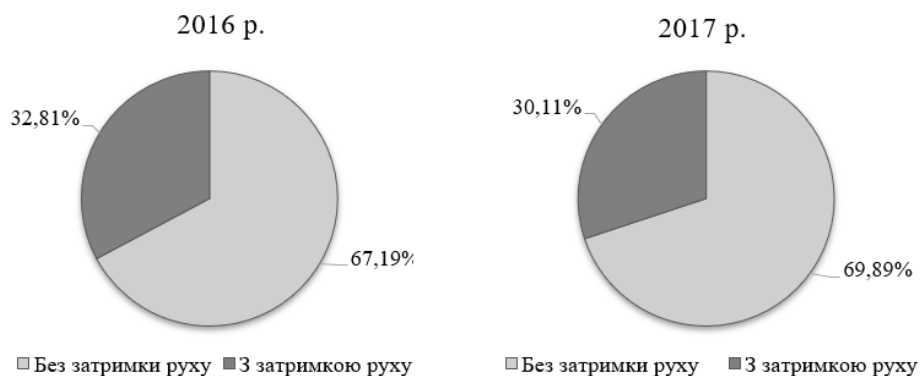


Рисунок 4.12 – Питома вага ДТП без затримок та ДТП з затримкою руху за участю трамваю

Збільшення загальної кількості ДТП за участю транспортних засобів МПТ, кількості травмованих (тролейбус і трамвай), деяких показників тяжкості наслідків ДТП (автобус, тролейбус), велика кількість ДТП з затримками руху потребує проведення обстеження і аналізу дорожніх умов та параметрів руху у межах маршрутів МПТ, виявлення факторів, що впливають на безпеку руху транспортних засобів та пасажирів, як на зупинках, так і в салоні рухомого складу, визначення закономірностей їх зміни та розробку рекомендацій щодо підвищення безпеки руху з метою покращення соціальних показників.

Наразі одним з основних напрямків підвищення якості та безпеки обслуговування пасажирів МПТ в США та Великій Британії є впровадження системи Bus Rapid Transit (BRT) або швидкісний автобусний транспорт [36, 37]. Під системою BRT розуміється інтегрована система взаємодії транспортних засобів, розташування зупиночних пунктів, інтервали між якими дозволяють автобусу працювати на високих швидкостях; пріоритетність руху реалізована за рахунок виділеної смуги руху; послуги сплати проїзду та впровадження елементів Intelligent Transport System (ITS). Слід зазначити, що така система організації руху призводить до економії часу проїзду на 1-3 хвилини на 2 км шляху, враховуючи час на зупинки. Основні переваги системи BRT – це не тільки економія часу, але й підвищення кількості перевезених пасажирів, підвищення екологічної безпеки та безпеки руху. Впровадження системи BRT в

містах США та Великій Британії вказує на зниження матеріальних витрат, виходячи з потрібної меншої кількості ТЗ для роботи на маршруті [36, 37].

Впровадження швидкісних режимів руху чи систем подібних BRT потребує врахування історичної побудови та призначення міста, типу транспортної мережі, щільності забудови та інше. Надалі розглянемо доцільність впровадження принципу управління якістю міської логістики на міських автобусних маршрутах м. Харкова, через зміну режимів руху на маршрутах з врахуванням особливостей системи BRT, а саме виділення спеціальної смуги для руху міського пасажирського транспорту.

Місто Харків – один з найбільших в Україні та Європі промислових, культурних, наукових центрів. Історично склалося, що територіально-планувальна структура Харкова, як і багатьох міст світу, розвивалася радіально – від центру (фортеці, ратуші, торгової площі) до околиць. Особливістю центричної структури є переважне розташування великих пунктів тяжіння в центральній частині міста та зоні, прилеглої до центру, а також наявність житлових районів з високою щільністю забудови, розташованих на міських околицях.

Переваги центричних структур, що полягають в гарній доступності загальноміського центру, близькості природного оточення, ефективно проявляються при порівняно обмежених розмірах міста. Але з ростом території погіршується функціонування його моноцентричної транспортно-комунікативної системи з огляду на дедалі більший обсяг навантажень на центр міста. У той же час від центральної частини міста все більше віддаляються периферійні міські райони [20].

Транспортна мережа м. Харкова має радіальну схему, характерна особливість якої – забезпечення найкоротшого зв'язку периферійних та приміських районів з міським центром, але ускладнене сполучення між периферійними районами. Більшість поїздок при радіальній схемі транспортної мережі здійснюється в центр або через центр, що призводить до його перевантаження [20].

При скороченні маршрутів МЕТ співвідношення між автобусними маршрутами і маршрутами МЕТ зростає, з діаграми (рис. 4.13) видно, що кількість автобусних маршрутів по всіх районах міста Харкова в два рази, а в деяких районах і в три рази, більше кількості маршрутів міського електричного транспорту.

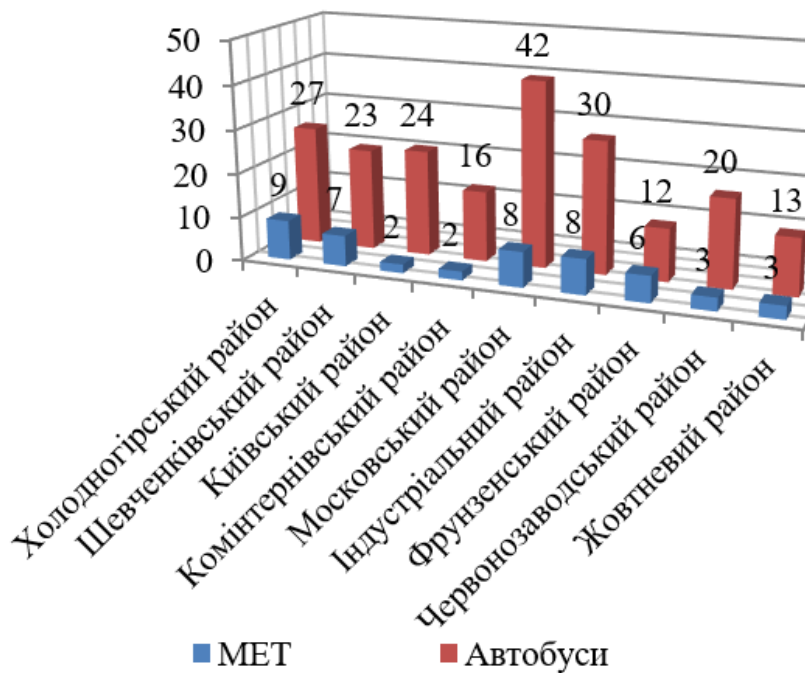


Рисунок 4.13 – Співвідношення між кількістю маршрутів МЕТ та автобусів по районах міста Харкова

На сьогоднішній день Харківський метрополітен складається з 3-х самостійних ліній експлуатаційною довжиною близько 38,7 км із трьома пересадочними вузлами та 30 станцій:

- 1 лінія — Холодногірсько-заводська — 17,3 км (13 станцій);
- 2 лінія — Салтівська — 10,4 км (8 станцій);
- 3 лінія — Олексіївська — 11 км (9 станцій).

Відповідно до Закону України „Про автомобільний транспорт” від 23 лютого 2006 р. №3492-IV [38]:

- перевезення пасажирів у звичайному режимі руху – перевезення пасажирів автобусами на маршруті загального користування з дотриманням усіх зупинок, передбачених розкладом руху;
- перевезення пасажирів в експресному режимі руху – перевезення пасажирів автобусами на маршруті загального користування, на якому є звичайний режим руху, з дотриманням зупинок, кількість яких за розкладом руху не перевищує 25 % кількості зупинок при звичайному режимі руху.

Слід зазначити, що близько 90% автобусних маршрутів м. Харкова працюють в експресному режимі руху відповідно до нумерації маршрутів (№42е, №16е та інші.). Однак, відповідно до зазначеного вище трактування Закону України „Про автомобільний

транспорт”, організація руху на автобусних маршрутах м. Харкова не відповідає експресному режиму руху. Строки служби автомобільних транспортних засобів, що працюють на маршрутах міста, значно підвищують нормативні. Така ситуація впливає на якість та зручність обслуговування пасажирів, рівень безпеки та екологічність.

Основними видами наземного міського пасажирського транспорту в Україні є трамвай, тролейбус та автобус.

З точки зору забезпечення безпеки руху на маршрутах МПТ однією з головних задач є безпека пасажирів, яку слід розглядати у декількох аспектах:

- безпечний підхід до зупинок міського пасажирського транспорту;
- безпечний процес посадки/висадки на зупинці;
- безпека у салоні транспортного засобу під час здійснення поїздки по маршруту.

Безпека у салоні транспортного засобу під час здійснення поїздки маршрутом обумовлюється різноманітними факторами, серед яких дотримання правил перевезення пасажирів [39] та відсутність ДТП на трасі маршруту.

Аналіз статистичних даних з ДТП у м. Харкові за 2016-2017 рр. за участю транспортних засобів міського пасажирського транспорту виявив, що найбільш поширеним видом ДТП є «зіткнення», як з транспортними засобами МПТ (тролейбуси, трамваї, автобуси), так і з іншими транспортними засобами (легкові, вантажні автомобілі, трактори та ін.), на всіх видах МПТ питома вага цього виду ДТП найбільша (табл. 4.4).

Як видно з табл. 4.4, досить незначна частка зіткнень (до 10 %) відбувається між транспортними засобами МПТ, а найбільший відсоток (від 72 % до 88 %) припадає на зіткнення з іншими транспортними засобами, які рухаються в одному транспортному потоці з МПТ. Враховуючи, що рух трамваїв на більшості маршрутів організовано на відокремленому полотні, а також рух тролейбусів і трамваїв здійснюється різними вулицями (перетинаються тільки на перехрестях) зіткнення цих видів МПТ за розглянутий період не спостерігалось.

Таблиця 4.4 – Питома частка ДТП «зіткнення» на видах МПТ

Вид наземного МПТ	2016 рік				
	з ТЗ МПТ			з іншими ТЗ (крім МПТ)	Всього
	Тролейбус	Трамвай	Автобус		
Тролейбус	2,60 %	–	6,77 %	78,65 %	88,02 %
Трамвай	–	1,25%	1,67%	88,33 %	91,25 %
Автобус	5,11%	2,55%	1,70%	72,77 %	82,13 %
Вид наземного МПТ	2017 рік				
	з ТЗ МПТ			з іншими ТЗ (крім МПТ)	Всього
	Тролейбус	Трамвай	Автобус		
Тролейбус	1,08 %	–	9,14 %	76, 34 %	86,56 %
Трамвай	–	3,69 %	2,21 %	86,72 %	92,62 %
Автобус	6,36 %	1,69 %	1,69 %	72,88 %	82,63 %

Одним з заходів, що дозволить знизити ризик зіткнення та підвищити безпеку руху, а також ефективність пасажирських перевезень є організація руху транспортних засобів МПТ по виділених (спеціалізованих) смугах [40].

Необхідні умови для пріоритетного руху МПТ можуть бути забезпечені на стадії містобудівного проектування, коли є великі можливості для виділення відповідної додаткової ширини проїзної частини, влаштування місцевих розширень перед перехрестями та інше [40].

Значно складніше реалізувати необхідність в наданні пріоритету в процесі вирішення оперативних питань організації руху або часткової реконструкції вулиць.

У якості критерія можливості впровадження швидкісного режиму руху чи систем подібних BRT [36, 37] за рахунок виділення смуги руху для маршрутів МПТ, пропонується використання коефіцієнту завантаження смуги руху (K_z) та ймовірність виникнення ДТП ($P_{дтп}$) [41] до і після впровадження виділеної (спеціалізованої) смуги для руху МПТ.

Впровадження принципу управління якістю міської логістики через вибір режиму руху на автобусних маршрутах міста з виділеною смугою руху на зразок системи BRT з урахуванням інтересів транспортних підприємств, потреб пасажирів у якості, надійності і

безпеці, дозволить підвищити попит на послуги МПТ. При виборі режиму руху автобусів у міському сполученні пропонується наступна цільова функція:

$$Z = Z^{(3)} + Z^{(e)} \quad \Bigg/ \quad N^{(3)} + N^{(e)} = \text{const} \rightarrow \min, \quad (4.20)$$

де $Z^{(3)}$ – загальні витрати при звичайному русі на маршруті, грн.;

$Z^{(e)}$ – загальні витрати при експресному русі на маршруті, грн.;

$N^{(3)}$ – кількість ТЗ, що працюють в звичайному режимі руху, од.;

$N^{(e)}$ – кількість ТЗ, що працюють в експресному режимі руху, од.

У повному розгорнутому вигляді цільову функцію (4.20) можна записати у наступному вигляді:

$$Z = \frac{\tau \cdot N^{(n)} (E_{ET}^{variable} \cdot V_e^{(n)} + E_{TE}^{permanent}) + (RI_{pas1}^{(n)} \cdot Q_1^{(n)} + RI_{pas2}^{(n)} \cdot Q_2^{(n)})}{Q_{total}^{(n)}} + \frac{\tau \cdot N^{(ex)} (E_{ET}^{variable} \cdot V_e^{(ex)} + E_{TE}^{permanent}) + (RI_{pas1}^{(ex)} \cdot Q_1^{(ex)} + RI_{pas2}^{(ex)} \cdot Q_2^{(ex)})}{Q_{total}^{(ex)}} \quad \Bigg/ \quad N^{(n)} + N^{(ex)} = \text{const} \rightarrow \min \quad (4.21)$$

де $N^{(n)}$ – кількість ТЗ, що працюють в звичайному режимі руху, од.;

$N^{(ex)}$ – кількість ТЗ, що працюють в експресному режимі руху, од.;

$E_{TE}^{variable}$ – змінні витрати транспортного підприємства, грн.км;

$E_{TE}^{permanent}$ – постійні витрати транспортного підприємства, грн./год.;

τ – тривалість розрахункового періоду, год.;

$V_e^{(n)}$, $V_e^{(ex)}$ – експлуатаційна швидкість на маршруті при звичайному та експлуатаційному режимах руху відповідно, км/год.;

$RI_{pas1}^{(n)}$, $RI_{pas2}^{(n)}$, $RI_{pas1}^{(ex)}$, $RI_{pas2}^{(ex)}$ – зниження доходу пасажирів внаслідок транспортного пересування при звичайному та експресному режимах русі в прямому та зворотному напрямках відповідно, грн. ;

$Q_1^{(n)}$, $Q_2^{(n)}$, $Q_1^{(ex)}$, $Q_2^{(ex)}$ – об'єм перевезень на маршруті в прямому та зворотному напрямках при звичайному та експресному режимах русі відповідно, пас.

Соціальна ефективність від впровадження комбінованого режиму руху на автобусних маршрутах МПТ з виділенням окремої (спеціалізованої) смуги руху визначається через:

- оцінку зниження доходу пасажирів внаслідок транспортного пересування [1, 2, 6] при звичайному та експресному режимах руху;
- оцінку можливості виділення окремої (спеціалізованої) смуги руху на трасах маршрутів МПТ з урахуванням кількості смуг руху та інтенсивності транспортних потоків;
- оцінку розміри викидів шкідливих речовин автомобільним транспортним засобом з урахуванням ймовірності знаходження об'єктів дорожнього руху в полі сприйняття водія [17] при звичайному та експресному режимах руху з урахуванням виділення окремої (спеціалізованої) смуги руху.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Адаптовано основні логістичні принципи щодо управління маршрутною системою міського пасажирського транспорту з урахуванням екологічної складової.

2. Використання представленої методики при формуванні чи удосконаленні маршрутної мережі в рамках реалізації принципу стійкості та адаптивності системи міського пасажирського транспорту надасть змогу оперативно змінювати маршрути з метою задоволення потреб населення в перевезеннях.

3. Запропоновано математичну модель вибору режиму руху автобусів у міському сполученні, що враховує основні положення принципу управління якістю.

4. В ході проведення детального аналізу аварійності в Україні та в м. Харкові встановлено, що найбільший відсоток ДТП припадає на зіткнення з іншими транспортними засобами, які рухаються в одному транспортному потоці з МПТ.

5. Запропоновано реалізацію принципу управління якістю через вибір режиму руху на автобусних маршрутах міста з виділеною смугою руху на зразок системи BRT з урахуванням інтересів транспортних підприємств, потреб пасажирів у якості, надійності та безпеці, а також екологічної складової з оцінкою розмірів викидів шкідливих речовин ДВЗ на маршруті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лановий, О. Т. Мережа автомобільних доріг загального користування та її вплив на розвиток регіонів України» [Текст] / Лановий О. Т. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. Вип. 10. – К.: НТУ, 2012. – С. 114–118.

2. Лановий О. Т. Макроекономічна ефективність функціонування автомобільних доріг загального користування України [Текст] / Лановий О. Т. // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2006. – Випуск 11. С. 122 – 125.

3. Лановий О. Т. Логіко-математичне моделювання функціонування мережі автомобільних доріг та його зв'язок з економікою країни [Текст] / Лановий О. Т. /. Вісник Національного транспортного університету. В 2-х частинах: Ч. 2. – К.: НТУ, 2006. – Випуск 13. С. 134 – 139.

4. Галузева програма забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті на 2016 – 2018 роки: затверджена Наказом Міністерства інфраструктури України 18 березня 2016 року № 112.

5. Дмитрієв М.М. Вдосконалення маршрутних систем пасажирських перевезень в контексті прийняття сітілогістичних рішень на прикладі м. Донецьк [Текст] / М.М. Дмитрієв, Т.А. Воркут, В.П. Матейчик, В.Ф. Плошай, В.С. Маруніч, В.С. Харута, І.М. Вакарчук // LXIX наук-практ. конф. наук-пед. прац, асп, студ. та струк. підр. університету. Тези доповідей. -К.: НТУ, 2013

6. Іванова-Костецька Г.С. Визначення поняття “логістика міста” [Текст] / Г.С. Іванова-Костецька // Архітектура : [зб. наук. пр.]

/ відп. ред. Б. С. Черкес. - Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. - 256 с.

7. Йонкис А. Применение логистики в сфере оптимизации потоков городского транспорта [Текст] / А. Йонкис // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – N 1. – С. 295-300.

8. Крикавський В.Є. Логістика і місто: ефект взаємодії [Текст] / В.Є. Крикавський, О.С. Мельниченко, Р.Л. Сопільник // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Логістика – 2008. – С. 814- 822.

9. Левковець П.Р. Системні аспекти логістики в проектах пасажирських перевезень [Текст] / П.Р. Левковець, І.Ф. Шпильовий // Монографія. – К.: НТУ, 2007.-152с.

10. Fischer, Mario Okologische Dimension der Logistik: evolutorsch-entropische Systemanalyse okonomischer Prozesse [Text] / Mario Fischer, Mit einem Geleitw, von Peter Klaus. – Wiesbaden: Dt. Univ.-Vlg.; Wiesbaden: Gabler, 1995 (Gabler Edition Wissenschaft) Zugl.: Erlangen, Nurnberg, Univ.,Diss., 1994. – 173 p.

11. Urban Logistics – ACEA [Electronic resource] / Available at: <http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/urban-logistics>.

12. Городская логистика [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Городская_логистика.

13. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст]: підр. / В. К. Доля. – Харків: «Вид-во «Форт», 2011. – 504 с.

14. Губенко, В. К. Логистическая централизация материальных потоков: теория и методология логистических распределительных центров [Текст] : монография / В. К. Губенко. – Донецк: Институт экономики и промышленности, 2007. – 495 с.

15. Исик, Л. В. Интерфейс мезологической системы городского пассажирского транспорта [Текст] / Л. В. Исик // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2011. – Вып. 3 (16). – С. 128–130.

16. Логистика: общественный пассажирский транспорт [Текст] : уч. для ВУЗов / под ред. Л. Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 224 с.

17. Мальчикова, А. Г. Организация логистических потоков в системе городских пассажирских перевозок [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Мальчикова. – Санкт-Петербург, 2000. – 18 с.

18. Губенко В.К. City Logistics: имплементация парадигмы креативных логистических цепей [Текст]: [монография] / В.К. Губенко, И.В. Николаенко. – Мариуполь, 2015. – 493с.

19. Burinskiene, M. Urban transport systems planning: monograph. Vilnius [Text]: Technika, 2005. – 352 p.

20. Griskeviciene, D., Griskevicius, A. Public transport passenger's social problems and their solution. In: Transport: Technologies, economics, environment, health: collective monograph. Vilnius [Text]: Technika, 2003. – pp. 623-685.

21. Вакуленко К.Є. Управління міським пасажирським транспортом [Текст]: [навч. посібник] / К.Є. Вакуленко, К.В. Доля; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова – Х.: ХНУМГ, 2014. – 260 с.

22. Вакуленко К. Є., Доля В. К. Логістичні принципи управління системою міського пасажирського транспорту [Текст]// Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №3 (69) – С. 33 – 37

23. Лежнева О. І. Організація перевезень пасажирів у містах [Текст]: [навчальний посібник] / О. І. Лежнева – Х.: Точка, 2010. – 311 с.

24. Управління безпеки дорожнього руху. Статистика аварійності в Україні. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm>

25. Міністерство інфраструктури України. Технічне розслідування дорожньо-транспортних пригод на комерційному автомобільному транспорті: поняття, передумови виникнення та основні положення [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/files/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%205.pdf>

26. Попов С.Ю. Формулювання характеристик безпеки руху маршрутних транспортних засобів в умовах існуючих транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста [Текст]/ С.Ю. Попов, О.М. Дудніков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. - Горлівка, 2007. - № 2(5). - С. 138-142.

27. Поліщук В. П. Визначення рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування [Текст] / В. П. Поліщук, О. Т. Лановий, Т. В. Боднар // Вісник Національного транспортного університету : зб. наук. праць. – В 2-х ч. – Ч. 2. – К. : Вид-во НТУ. – 2008. – Вип. 17. – С. 104-107.

28.Абрамова Л. С. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения [Текст] / Л. С. Абрамова, В.В.

Ширин, Г. Г. Птица // Вестник ХНАДУ. – 2015. – Вип. 69. – С. 118 - 123.

29. Попов С. Ю. Необходимость учета безопасности движения при планировании маршрутов городских автобусных перевозок [Текст] / С.Ю. Попов, А.Н. Дудников // Материалы I международной научно-практической конференции "Становление современной науки - 2006". – Днепропетровськ, 2006.

30. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения [Текст]: Учебник для вузов / В. Ф. Бабков. – Москва: Транспорт, 1993. – 271 с.

31. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения [Текст] / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – Москва : Транспорт, 1992. – 207 с.

32. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов [Текст] / Е. М. Лобанов – Москва : Транспорт, 1990. – 240 с.

33. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2015 рік [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. – Київ, 2016. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/files/%D0%90%D0%9D%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20-%202015.pdf>

34. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2016 рік [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. – Київ, 2017. – Режим доступу: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf

35. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2017 рік [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. – Київ, 2018. – Режим доступу: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf

36. Buses with High Level of Service. Fundamental characteristics and recommendations for decision-making and research. Results from 35 European cities [Text] // European cooperation in science and technology, 2011. – 180 p.

37. Bus Rapid Transit [Text] // Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit: Transportation research board – Washington, 2003. – 62 p.

38. Закон України „Про автомобільний транспорт” від 23 лютого 2006 р. №3492-IV.

39. Правила дорожнього руху України 2019 р., розділ 21 «Перевезення пасажирів» [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://vodiya.ua/pdr/21/>

40. Клишковштейн Г. И. Организация дорожного движения [Текст] : Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Г. И. Клишковштейн, М. Б. Афанасьев. – Москва : Транспорт, 2001. – 247 с.

41. Доля В.К. Визначення закономірностей зміни ймовірності виникнення ДТП / В.К. Доля, О.М. Єрмак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Вип. 59. – С. 4-6.

Багатогранність автомобілізації як складної соціально-техніко-економічної системи визначає багатогранність її взаємних зв'язків з навколишнім середовищем. Підхід сучасної науки до загальних проблем взаємин людини і природи дозволив класифікувати ці зв'язки за трьома напрямками: споживання ресурсів, забруднення навколишнього середовища і негативні соціальні наслідки.

Поряд з багатьма благами автомобілізація супроводжується негативними явищами, що наносять істотний збиток суспільству і природі, що може проявлятися як безпосередньо, так і у вигляді нераціональної витрати ресурсів. І на першому місці серед негативних явищ знаходиться прямий збиток, що завдається суспільству в результаті дорожньо-транспортних пригод, які призводять до загибелі і пораненню людей (втрати національного доходу, що пов'язані зі смертю людей, виплати пенсій і допомог, оплати лікарняних, вартість лікування тощо), знищення і пошкодження вантажів, транспортних засобів і дорожніх споруд.

Сьогодні сучасна людина в епоху інформаційного прориву зіштовхується з проблемою вибору і обробки інформації, що надходить до нього. Діяльність людини в системах «водій–автомобіль–дорога–середовище» – не виключення. В умовах розвитку інформаційного суспільства роль та значення інформації в будь яких сферах діяльності людини значно підвищилась.

Кількість інформаційного впливу на людину (водія) постійно зростає завдяки стрімкому розвитку сучасних засобів електронної телекомунікації, підвищення кількості позашляхової реклами, активного використання мобільних пристроїв передачі інформації. Збільшення потоку інформації, як зовні автомобіля (надлишкова небажана інформація, кількість позашляхової реклами) так і у салоні автомобіля (використання мобільного зв'язку, радіо) впливає на психоемоційний стан водія і знижує його реакцію, що підвищує імовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Мета роботи полягає у дослідженні впливу інформаційних потоків на результати діяльності учасників дорожнього руху.

До основних задач, що вирішуються в роботі, відносяться:

- аналіз наукових підходів і методів визначення впливу інформаційних потоків на результати діяльності учасників дорожнього руху;
- дослідження впливу результатів діяльності учасників дорожнього руху на безпеку руху.

5.1 Основні етапи дослідження діяльності людини в системі ВАДС

Система ВАДС створюється для швидкого переміщення людей і різного типу вантажів у приземному просторі [1-5], складовими системи є В – водій, А – автомобіль, Д – дорога, С – середовище.

Система ВАДС це система, що утворює процес дорожнього руху, оскільки не одна з визначених підсистем не спроможна створювати даний процес. При вирішенні різних проектних завдань дослідниками розглядаються різні компоненти даної системи.

Якість процесу дорожнього руху залежить від характеристик компонентів системи та характеристик взаємозв'язку між ними.

Система ВАДС є різновидом системи, що зустрічається в техніці, людина – машина – середовище, проте поняття «середовище» розпадається на елементи [1–5]:

- дорога – штучна споруда, параметра якої вибирає і забезпечує людина;
- зовнішнє середовище – середовище перебування автомобіля або дороги, залежної від погодно-кліматичних русловій;
- внутрішнє середовище – середовище перебування людини в автомобілі, залежить від ступеня компенсації зовнішніх впливів конструкцією автомобіля;
- середовище руху, що враховує взаємодію автомобілів, пішоходів, управляючих дій на дорожній рух.

На рис. 5.1 і рис. 5.2 приведені приклади структурних схем динамічної системи ВАДС [1–5].

Взаємодію дороги, водія і транспортного засобу можна розглядати як контур, де водій – регулятор, який управляє безпечним

рухом свого транспортного засобу за допомогою тієї інформації, яку він одержує через органи чуття про параметр, що управляє, «дорога», про обумовлюючі дії «погодні умови» і «дорожній рух», а також про поточні стани транспортного засобу. Потік інформації проходить через «фільтри», при цьому: поступає до органів чуття 10^{11} біт (а); далі органами чуття передається – 10^6 біт (б); усвідомлюється 16 біт (в).

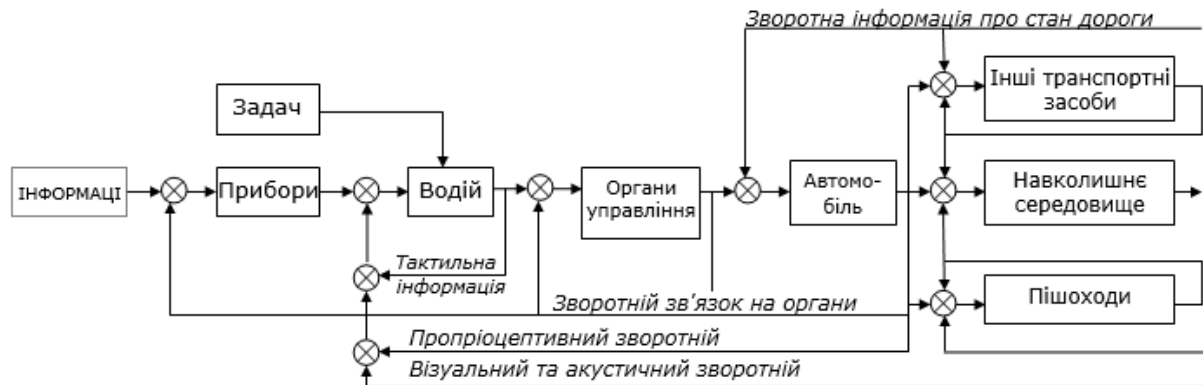


Рисунок 5.1 – Схема системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» (схема Бриггса) [1]

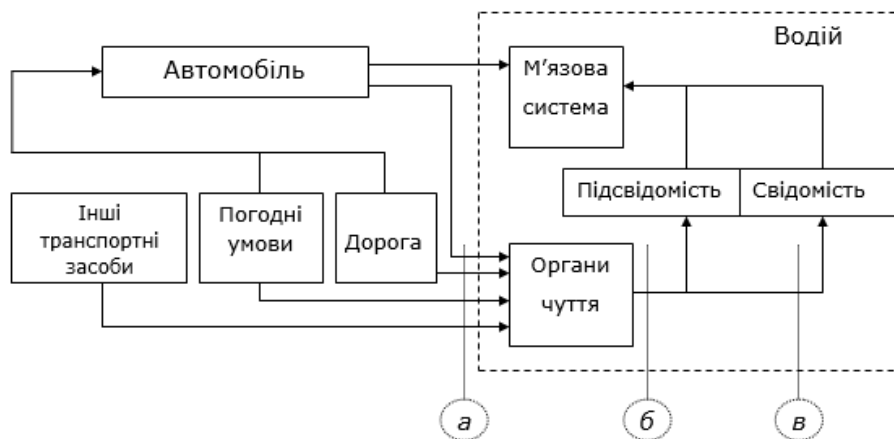


Рисунок 5.2 – Схема системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» (схема Дерта) [1]

Схема представлена на рис. 5.2 відрізняється від першої перш за все деталізацією блоку «водій». Дане уявлення є миттєвим «знімком» процесу водіння. Сама ж діяльність водія складає ланцюг таких циклічних процесів, кожний з яких протікає за аналогічними принципами. Таким чином, психічна діяльність водіння може виражатися у вигляді умовних рефлексів і автоматизмів (наприклад, при терміновому гальмуванні при несподіваному пред'явленні стоп-сигналу лідером) або у вигляді прийому сигналів подальшого

відбору, звернення до інформації з пам'яті у вигляді знайомих правил руху або накопиченого досвіду і порівняння з суб'єктивними мотивами різних, видів. Відбувається процес ухвалення рішення і програми дій, яка і здійснюється стереотипно.

В роботі [6] запропоновано перетворення системи ВАДС у систему ДУ – ТП (дорожні умови – транспортні потоки), враховуючи формування на дорозі транспортних потоків і вплив на них зовнішніх і внутрішніх впливів (ДУ). Дана система складається з взаємодії підсистем: водій-автомобіль (В+А), середовище (С), дорожні умови (ДУ), транспортний потік (ТП), їх взаємозв'язок представлений на рис. 5.3.

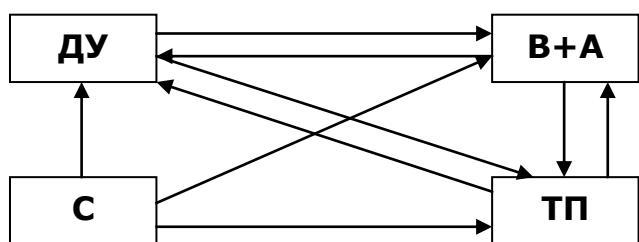


Рисунок 5.3 – Система ДУ – ТП [8]

З рис. 5.3 видно, що розглядається та ж сама система ВАДС, тільки з позиції впливу дорожніх умов на транспортний потік, тобто мета і завдання, для досягнення яких створюється і експлуатується система, визначають функцію і компоненти системи.

Після розгляду елементів системи ВАДС, необхідно розглянути міжелементні зв'язки, які об'єднують елементи системи в єдине ціле – систему ВАДС.

Система ВАДС є складною. Всі її компоненти об'єднані між собою причинно-наслідковими зв'язками. Дана система характеризується певною взаємодією між компонентами, що визначають її цілісність [1–5].

В [1–5] система ВАДС представлена у вигляді ієрархії її елементів і підсистем (рис. 5.4).

Забезпечення надійності системи припускає синтез одиничних систем ВАДС в сукупності підсистем, що забезпечують ефективність транспортного процесу в цілому [1–5]. Надійність і ефективність транспортного процесу залежить від міжсистемних зв'язей, як надійність системи ВАДС від міжелементних.

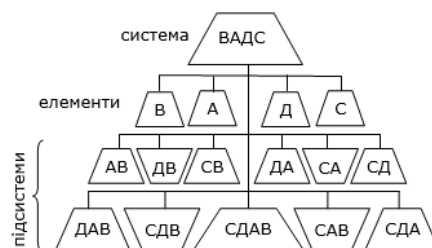


Рисунок 5.4 – Ієрархія елементів та підсистем системи ВАДС

Підвищення надійності одного елементу системи може привести до підвищення надійності системи в цілому [1–5].

Система ВАДС базується на системній взаємодії водія з середою руху. При русі по дорозі людина реалізує цілеспрямовану діяльність за допомогою автомобіля. Власні дії людини продовжуються у функціонуванні автомобіля, проводяться через нього. Тому людина і автомобіль зв'язуються дією [6–9].

Міжелементні зв'язки між дорогою і водієм розрізняють за двома ознаками – призначенню і засобам дії на водія.

За призначенням зв'язки ділять на зв'язки інформаційного забезпечення і дії, що управляють. Засоби реалізації міжелементних зв'язків можна розділити на планувальні, з переважною дією на проїжджу частину, і на технічні, пов'язані головним чином з організацією руху. Різноманітні і добре розроблені засоби організації руху містять призначені для водіїв носії різної інформації, дій, що управляють, методів повного використання експлуатаційно-технічних засобів автомобілів [1–5].

5.2 Характеристика складових системи ВАДС

Водій займає особливе місце в системі ВАДС. Йому властиві властивості і чинники, що мають безпосереднє відношення до забезпечення надійності професійної діяльності, як [1–5]:

- придбання навичок в процесах самонавчання (порівняно повільного накопичення досвіду) і навчання (швидшого і ефективнішого формування знань і умінь);
- здібність до аналізу своєї діяльності, узагальнення накопичуваних знань, спостережень, досвіду;
- пам'ять – здатність запам'ятовувати, зберігати і відтворювати не тільки інформацію, але і навички;
- умисні дії, що збільшують небезпеку залучення у важкі відмови (ДТП);
- повторення одних і тих же помилок, статистично стійке порушення одних і тих же правил, наприклад, поведінки на дорозі;

- адаптація до різних умов діяльності, стан елементів системи ВАДС; наявність небезпечного різновиду адаптації звикання до небезпеки, притуплення пильності;
- уміння в одних випадках компенсувати відмови елементів системи ВАДС зміною своїх дій, в інших, навпаки створювати ті або інші відмови в системі;
- наявність збоїв в діяльності;
- існування інстинктивних дій, рефлексів, підсвідомої діяльності;
- створення на додаток до відмов, обумовлених такими причинами, як стомлення, хвороби, вікові чинники, відмов обумовлених вживанням алкоголю, самолікуванням (ліками).

Функція водія за змістом – орієнтація автомобіля в просторі й часі. Орієнтовна діяльність водія класифікується на ближню й дальню. Ближня орієнтація – орієнтування автомобіля в межах проїжджої частини щодо її кромки і об'єктів, що формують дорожнє середовище. Ближня орієнтація визначає тактику руху. Ця орієнтація зводиться до вибору дороги, якою передбачається рухатися, вона визначає стратегію руху [1–5].

Функція водія за формою – реалізація керування рухом автомобіля, що включає контроль, регулювання й оперативне керування [1–5].

В умовах руху великого міста в щільних транспортних потоках зростають всі показники роботи автомобіля. Подібні особливості зумовлюють потенційну нерівномірність (нестійкість до збереження працездатності), різну у різних агрегатів автомобіля.

Дорога створюється для водіїв і автомобілів. Їх властивості і особливості, вимоги, що пред'являються до них, визначають і вимоги до надійності дороги на всіх етапах її існування – проектування, будівництва, експлуатації. Істотні дії, обумовлені міжелементними зв'язками між дорогою і рештою елементів системи ВАДС [1].

Функція дорожнього середовища – забезпечення зручного, безпечного і постійного руху автомобілів с розрахунковими швидкостями і навантаженнями. Під дорожнім середовищем розуміють весь комплекс факторів, що впливають на режими руху автомобілів. До складу цього комплексу включають дорогу, дорожні знаки, світлофори, усякого роду покажчики, огороження дороги, автомобілі транспортних потоків зустрічного і попутного напрямку,

пішоходів, будинки й спорудження, рослинні групи у прилягаючій до дороги смузі, ландшафти, що оточують, погодні фактори і т.ін.

На надійність дороги, автомобіля, водія може істотно впливати середовище. Розрізняють зовнішнє середовище, в якому перебувають дорога, автомобіль; внутрішнє середовище – середовище перебування людей в автомобілі.

Зовнішнє середовище (надалі просто середовище) має ряд особливостей, які треба враховувати при проведенні оцінки щодо забезпечення надійності дороги, автомобіля, водія:

- середовище існує об'єктивно; її параметри, доводиться вважати заданими, проте можна у ряді випадків компенсувати вплив середовища на надійність системи ВАДС;

- параметри, що характеризують середовище, залежать від клімату, пори року, часу доби, погоди, перші три поняття, на відміну від погодних впливів, статистично стійкіші, краще прогнозовані;

- чинники, що характеризують середовище, різноманітні і міняються випадковим чином, серед них виділяють: температуру і вологість повітря, опади (дощ і сніг), туман, хмарність і освітленість, тривалість сонячного і темного часу доби;

- середовище істотно впливає на елементи: дорога, автомобіль, водій, а іноді і на підсистеми, в які вони входять;

- середовище по-різному впливає на елементи системи ВАДС: дорога нерозривно пов'язана з середовищем, завжди знаходиться під її дією; дії ці різні, але кліматичні – постійні; автомобіль при належному зберіганні знаходиться під впливом середовища тільки в робочий час, але може експлуатуватися в будь-якій кліматичній зоні, у будь-який час доби; водій перебуває протягом робочого часу в середовищі, що представлено салоном автомобіля, призначеного забезпечувати водію високий рівень працездатності, комфорт (внутрішнє середовище). Таким чином, працездатність водія обумовлена дією як зовнішнього (зорове сприйняття), так і внутрішнього середовища [1].

Внутрішнє середовище. Дослідження умов роботи водіїв свідчать про істотне значення параметрів внутрішнього середовища в автомобілі. Надійність пристроїв і підсистем внутрішнього середовища визначається її санітарно-гігієнічними показниками і працездатністю засобів інформаційного забезпечення (щиток приладів і інші аналогічні джерела інформації, необхідні водію) [1].

Діяльність водія в системі ВАДС.

Діяльність водія – це взаємодія водія із середовищем, у результаті чого він досягає свідомо поставлених цілей, які можуть бути віддаленими і близькими, кінцевими і проміжними [1].

Формальне вираження сукупності дій у процесі орієнтовної діяльності водія є сукупністю операцій з керування рухом автомобіля або орієнтованою поведінкою водія [1].

У результаті досягнення поставленої мети система ВАДС переходить у новий стан, що визначається не тільки просторовими координатами, але й новим набором цілей, що активізують подальше маневрування. Той самий маневр, але зроблений у різних цілях, переводить систему у неоднаковий стан. Тому орієнтована поведінка водія – послідовний перехід від одного стану системи до іншого, що завершується переходом до кінцевого стану, яке визначається кінцевою метою [1].

Основні принципи поведінки водія [6–9]:

1. Принцип найменшої взаємодії, відповідно до якого водій організовує свою поведінку таким чином, щоб при мінімумі дій забезпечити максимальну ефективність взаємодії з середовищем. Цей принцип полягає у тенденції водія звільнити свій організм від напруження та перевантажень, максимізуючи при цьому засоби до задоволення своїх потреб.

2. Принцип функціонування гомеостазису, відповідно до якого водій при дослідженні мети утримує у допустимих межах деяку сукупність змінних рухів, якими керує.

3. Принцип сумісності, відповідно до якого взаємодія водія з середовищем допускає цілеспрямовану дію всіх учасників руху, оскільки діяльність водія соціально нормована.

В роботі [1] представлені наступні показники діяльності водія: вік, стаж водіння; алкогольне сп'яніння, нервовий стан; стомлення; хвороби, ліки; відношення до професії. Всі ці фактори впливають на надійність водія в системі ВАДС і на ступінь безпеки руху.

В роботі [1] чинники поведінки характеризуються наступними альтернативними ознаками: свідомо обґрунтована, рішуча або обережна поведінка водія; велика або мала швидкість руху; рідкісне або часте користування педаллю зчеплення; урівноважена або неуврівноважена манера водіння; терпляча або нетерпляча поведінка водія; малий або великий стаж водіння; рішуче упевнений або нерішуче невпевнений спосіб водіння.

Психофізіологічні особливості праці водія. До них можна віднести наступні [10]: значна нервово-психологічна напруга; безперервність і дискретність; робота в умовах нав'язаного темпу і дефіциту часу; прогнозування, тобто передбачення імовірного розвитку дорожньої обстановки; стійкість і інтенсивність уваги; монотонність (одноманітність); нерівномірність і невизначеність інформації, що поступає; активний пошук бракуючої інформації при управлінні автомобілем в умовах поганої видимості (вночі, в тумані, в дощ, снігопад); нервова напруга, внаслідок високої відповідальності за життя пасажирів, збереження вантажів і автомобіля.

Ергономічні принципи відносно транспортного засобу охоплюють комплексну його взаємодію з водієм, вплив на ефективність процесів його діяльності [1].

Основною задачею ергономіки є забезпечення ефективної, а головне безпечної взаємодії людини з засобами праці у відповідному виробничому середовищі. В системі «водій – автомобіль – дорога – середовище» водій є оператором системи, трудові процеси якого полягають в операціях, що зв'язані із прийомом і переробкою інформації, яка надходить до водія. Інформаційний потік надходить до водія через сприйняття ним навколишньої середовища. Усю вхідну інформацію йому необхідно безупинно аналізувати, приймаючи при цьому правильне рішення, від якого залежить безпека всіх учасників дорожнього руху.

Однією з основних причин аварійності на автомобільному транспорті є недостатня професійна майстерність водіїв. Аналіз дорожньо-транспортних подій показує, що неправильні й неузгоджені дії водіїв у більшості випадків викликані помилками в оцінці шляхово-транспортних ситуацій і прогнозі їхнього подальшого розвитку (рис. 5.5 і рис. 5.6) [1].

У діючих програмах підготовки водіїв навчання водіння автомобіля приділяється менш чверті навчального часу. Підвищення вартості пально-мастильних матеріалів ще більше скорочує цей час. Крім економічних проблем причинами недостатньо високого рівня підготовки водіїв є відсутність науково-узгоджених методичних розробок і технічних засобів для формування у водіїв необхідних навичок керування автомобілем.

Психологічна підготовка водіїв – це доцільне формування психічних властивостей, які забезпечують надійне управління автомобілем в будь-яких дорожніх умовах. До психологічної

підготовки відносяться морально-етична підготовка, тренування і вдосконалення психологічних і особових якостей, а також ідіомоторне і аутогенне тренування [10].



Рисунок 5.5 – Класифікація причин ДТП, безпосередньо пов’язаних з діяльністю водія [1, 11–13]



Рисунок 5.6 – Класифікація причин, що впливають на функції водія [1, 11–13]

Важливе значення для надійності водіїв має спеціальне тренування таких психічних якостей, як сприйняття, увага, оперативні якості мислення і пам'яті, швидкість і точність сенсомоторних реакцій, емоційна стійкість. Саме ці психологічні особливості грають дуже важливу роль в оцінці дорожньої обстановки, в правильному і своєчасному ухваленні рішень і виконанні адекватних керівників дій. Тренування і вдосконалення згаданих якостей відбуваються при навчанні водінню автомобіля і подальшої професійної діяльності. Проте цей процес може бути прискорений, якщо в цих цілях будуть використані спеціальні прилади, стенди і тренажери [12].

Важливою перевагою тренажера є можливість виділити для вдосконалення певних навиків тільки ту частину дорожньої ситуації і інформації, що сприймається, яка необхідна для формування відповідного навичу [10].

В роботах [1, 10, 14] представлена наступна класифікація автомобільних тренажерів:

- за призначенням:

- функціональні (призначені для навчання і тренування окремих елементів водіння, тренування поведінки водіїв в строго певних умовах);

- комплексні (призначені для формування комплексу навичок майбутніх водіїв);

- за способом представлення дорожньої обстановки:

- стрічкові (з рухливим полотном дороги) – навчання водія в ігровій формі, на стрічці різної довжини вказується розмітка та дорожні знаки, водій повинен за допомогою керма втримати автомобіль на визначеній швидкості, дотримуючись дорожньої обстановки, при цьому швидкість руху треба періодично змінювати. Принцип даного тренажеру широко поширений у проектуванні атракціонів. За допомогою даного тренажеру можливо відпрацювати елементи навчання першого і другого етапів;

- тіньові (робоче місце водія (макет автомобіля) обладнане всіма стандартними органами управління і приборами, зусилля важелів і педалей управління аналогічні зусиллям реального автомобіля. Дорожня обстановка створюється на екрані за допомогою тіньової проекції, що забезпечує досить повну імітацію руху, добре здійснюють зворотний зв'язок відносно швидкості і напрямку руху.

Тренажери цього типа дають можливість набувати потрібних навичок першого етапу навчання і відпрацьовувати наступні основні прийоми водіння автомобіля (тренажери АТ-70, Т-5М, АТ-01, -2, -3; «Miles Motor Driving Trainer»; «Sim-L-Car»);

- кінофіціровані (проектування на великому екрані дорожньої обстановки, можливість зображення її в кольорі дозволяє забезпечити створення умов руху, близьких до реальних, що практично неможливо ні на стрічкових, ні на тінювих тренажерах. Особливу цінність представляють такі тренажери для отримання навиків управління автомобілем в строго певних конкретних дорожньо-транспортних ситуаціях. Добре знятий в методичному відношенні фільм дозволяє поетапно відпрацьовувати дії, щодо управління, не тільки в складних дорожніх умовах, але і в аварійних ситуаціях за участю інших учасників руху («Aetna Drivotrainer»; UCLA-I));

- телевізійні (чіткий зворотний зв'язок і за швидкістю руху, і по куту повороту керованих коліс; можливість навчання водінню за наявності перешкод (інших учасників руху); можливість запису (за допомогою телевізійного магнітофона) і подальшого детального аналізу помилок в управлінні. Можна відпрацьовувати сумісні маневри щодо перестроювання, проїзду нерегульованих і регульованих перехресть, проїзду залізничних колій і т. ін. (UCLA-II, «Brons-Drive-Educator»);

- за конструкцією:

- з нерухомим робочим місцем;
 - з рухомим робочим місцем.

Окрім наведених автомобільних тренажерів в роботі [3] представлено наступні види тренажерів:

- імітація умов дорожнього руху за допомогою кодування сигналів [15];

- імітація на стендах-тренажерах (стенд-тренажер фірми «Фольксваген» [16, 17]).

Для підготовки водіїв використовуються учбові автодроми – основна мета навчання на автодромі полягає в тому, щоб учень навчився надійному і безпечному управлінню автомобілем, не піддаваясь дії інших учасників дорожнього руху, не викликаючи обурень в транспортному потоці некоординованими, неправильними діями. Процес навчання на автодромах є інтенсивнішим,

контрольованим, ефективним і систематизованим. Моделювання різних ситуацій дорожнього руху в умовах необхідної безпеки можливо тільки на автодромах. Учень послідовно набуває автоматизму і упевненості у водінні автомобіля [10].

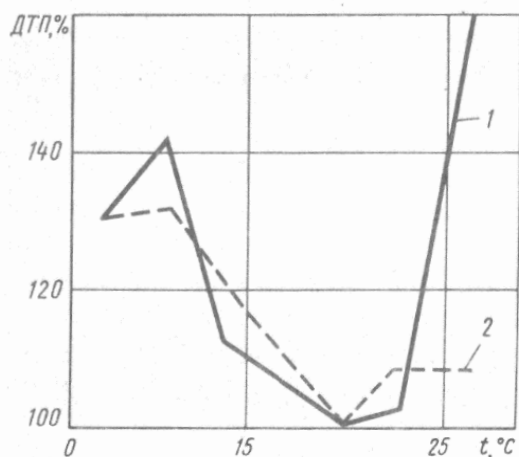
Проектування робочого місця водія та ергономічні властивості транспортного засобу. Для опису й аналізу процесу керування автомобілем важливі кількісні характеристики рухової діяльності, у число яких включають розміри моторного поля, форми траєкторії рухів кінцівок, силові параметри, швидкість рухів, якість регуляції зусиль, точність рухів, енергетичні витрати. Гранична норма витрати енергії для водія становить 12,6 кДж/хв. Граничне значення кисневого боргу (10-20 л) визначає максимальну тривалість роботи, що виконується безупинно. Можливість виконання фізичної роботи визначається і обсягом кисню, що може засвоюватися організмом в 1 хв. Цей обсяг називають кисневою межею. Все це свідчить про те, що повітря в кабіні автомобіля повинно бути чистим і містити необхідну кількість кисню. У протилежному випадку в працюючих клітинах організму не будуть відбуватися процеси окислювання і швидко наступить стомлення [1].

Робоче місце водія характеризується розмірами кабіни, обзорністю, зручністю доступу до органів управління, положенням сидіння і розташуванням по відношенню до нього органів управління, наявністю і інформативністю контрольно-вимірювальних приладів, особливостями середовища в кабіні (мікроклімат, освітлення, шум, вібрація). Для оптимального вирішення цих питань необхідна раціональна організація робочого місця відповідно до антропометричних вимог і психофізіологічних можливостей людини [10].

Основними показниками, за якими визначається ступінь відповідності сидіння вимогам інженерної психології, є [10]: просторове положення сидіння щодо органів управління; довжина, ширина і глибина подушки; висота і нахил подушки по відношенню до підлоги; висота спинки; система регулювання і віброзахисту; характеристики оббивки щодо пропускання вологи і повітря, кут нахилу спинки і ін.

Велике значення для самопочуття водія і його працездатності має мікроклімат кабіни – це сукупність температури повітря, його вологості і швидкості пересування. Температура в кабіні повинна бути в межах 15-25 °С. Найбільш сприятлива температура 18-20 °С.

Проте в літню пору року температура повітря в кабінах автомобілів перевищує температуру зовнішнього повітря на 4-12 °С [1, 10].



1 – серед чоловіків, 2- серед жінок

Рисунок 5.7 - Залежність між температурою повітря і кількістю ДТП (за Е. Бена)

Підвищення або пониження температури погіршує самопочуття водія і знижує працездатність. Залежність між температурою повітря в кабіні і кількістю ДТП представлена на рис. 5.7.

Система вентиляції повинна забезпечувати необхідний гігієнічний мікроклімат кабіни і очищення повітря кабіни від шкідливих домішок (оксидів вуглецю, пари бензину, пилу) [10].

Певне значення для успішної діяльності водія мають контрольно-вимірювальні прилади. Дослідженнями в області інженерної психології встановлено, що інформативність приладів залежить від їх розмірів і компоновки, особливостей шкал і освітлення. В даний час визначена оптимальна щільність розташування приладів на відстані 1/2 діаметру приладу. У зв'язку із зростаючою надійністю двигунів є тенденція до заміни приладів, що контролюють роботу двигуна, сигнальними лампочками, особливо на легкових автомобілях [10].

Під час роботи на водія впливає звукове середовище, яке містить корисну інформацію від працюючого двигуна, скрипу шин і гальм, сигнали інших автомобілів і ін. У кабіну проникає і шум, який робить шкідливий вплив на органи слуху і нервову систему людини. Для зниження несприятливого впливу шуму існують наступні заходи: ослаблення джерел шуму, шумопоглинання і шумоізоляції [12]. Проте водія не можна повністю ізолювати від звуків, що виникають поза кабіною, оскільки він повинен сприймати сигнальні звуки, необхідні для оцінки дорожньої обстановки.

Джерела вібрації в автомобілі ті ж, що і шуму. Ступінь вібраційного дискомфорту залежить від стану підвіски шасі автомобіля, конструкції кабіни і пристрою сидіння. Під дією вібрацій

погіршується сприйняття, знижується увага, сповільнюються психомоторні реакції, погіршується точність дій [10].

Сидіння автомобіля є хорошим амортизатором коливань, якщо воно відносно жорстке і добре поєднується з анатомічними особливостями людського тіла, тобто має з ним найбільшу площу зіткнення. Віб्राції сприймаються людиною поверхнею шкіри і тканинами всього організму. Водію вібрації передаються через спину, таз і руки [10].

Проектування автомобільних доріг. Проектування автомобільних доріг пройшло три крупні історичні етапи, в яких знайшли віддзеркалення різні підходи до проектування і експлуатації систем «людина – автомобіль – дорога»: технічний, системотехнічний і антропоцентричний [9].

Основні підходи проектування автомобільних доріг представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні підходи проектування автомобільних доріг [9]

Основні підходи проектування автомобільних доріг			
Технічне проектування	Ергономічне проектування	Естетичне проектування	Екологічне проектування
об'єкт проектування – дорога; мета проектування – забезпечення заданих характеристик взаємодії автомобіля з дорогою.;	системотехнічний підхід: об'єкт проектування – ВАДС; мета проектування – оптимізація функціонування ВАДС і забезпечення нормальних умов роботи людини.	об'єкт проектування – водій і його функції; мета проектування – підбір параметрів дороги, що забезпечують гармонійне поєднання елементів дороги і інформаційну виразність умов руху.	об'єкт проектування – екосистеми «автомобільна дорога – біосфера»; мета проектування - мінімальний збиток, що наноситься природі і людському суспільству.
	антропоцентричний підхід: об'єкт проектування – водій і його функції; мета проектування - ефективне протікання спроектованої діяльності людини, необхідної для здійснення функцій, що заплановані		

В даний час естетичне (художнє) проектування пов'язується з ландшафтним проектуванням. Основні завдання естетичного проектування: забезпечення внутрішньої гармонії середовища руху; забезпечення зовнішньої гармонії дороги з навколишнім ландшафтом; забезпечення стильової єдності архітектурних об'єктів і композиційної побудови всіх елементів дорожнього середовища [9].

Просторову плавність траси часто перевіряють побудовою перспективних зображень, використовуючи для цього методи накреслювальної геометрії (Е.С. Томаревська, І.В. Бегма, П.В. Панов). У МАДІ під керівництвом Е.М. Лобанова розроблений алгоритм і програма для ЕОМ, що дозволяє оцінити зорову плавність траси без трудомістких побудов перспективних зображень дороги [9].

І.В. Бегма і Е.С. Томаревська як критерії зорової плавності дороги запропонували геометричні характеристики перспективного зображення дороги – кут сходу дотичних до видимого перспективного зображення внутрішньої кромки проїжджої частини і відстань від вершини кута до видимої кривої, що вписана в цей кут [1, 9].

В.Ф. Бабков як основну характеристику зорової плавності дороги розглядає зміну кривизни ліній видимого зображення дороги [1, 9].

Е.М. Лобановим запропоновані три показники зорової плавності: радіус кривизни в екстремальній точці, кутові розміри ширини проїжджої частини в цій точці і параметр видимої кривої [1, 9].

Екологічне проектування припускає створення проекту екосистеми «автомобільна дорога – біосфера», що забезпечить максимальну тривалість існування цієї системи і мінімальний збиток, що наноситься природі і суспільству [9].

Проектування організації дорожнього руху. Головним фактором, що визначає надійність роботи водія – є сама дорога: її траса, поперечний профіль, рівність покриття, поєднання окремих елементів [1, 8]. При цьому дорога є найважливішим джерелом інформації, а як відомо, основним показником надійності водія – здатність до швидкого прийому інформації та швидких і безпомилкових дій у стресових ситуаціях.

Найбільш поширені і доступні засоби організації руху, за допомогою яких водію передають інформацію про дорожні умови –

це дорожні знаки; дорожня розмітка; покажчики напрямків, світлофорна сигналізація (рис. 5.8).

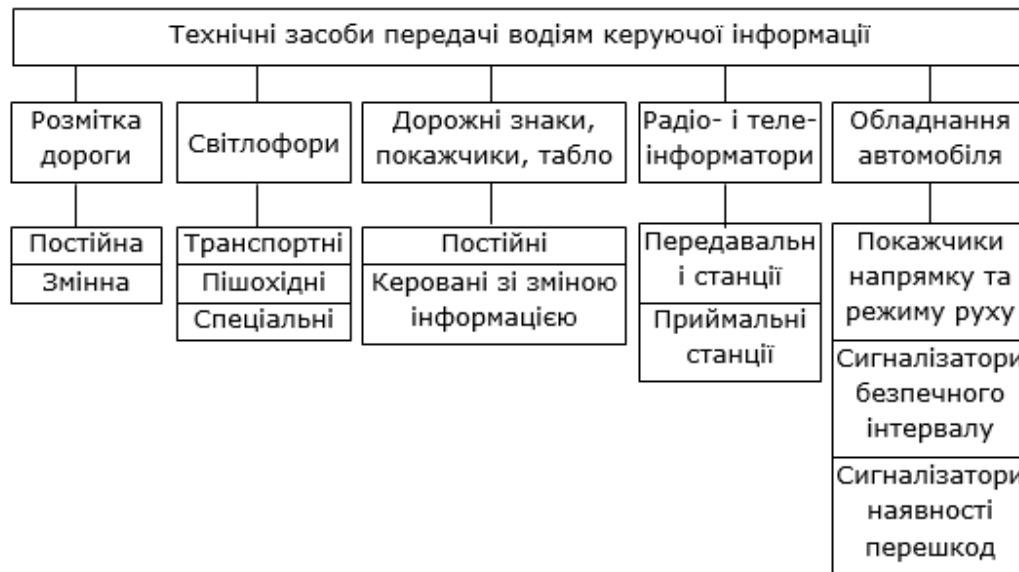


Рисунок 5.8 – Класифікація технічних засобів передачі інформації [8]

Їхня дія визначається режимом руху і якістю самого засобу інформації [1, 8]. Параметри і правила застосування засобів організації дорожнього руху повинні бути узгоджені з психофізіологічними можливостями людини [1, 8].

Для підвищення ймовірності своєчасного сприйняття дорожніх знаків необхідно вирішити два завдання: перше – поліпшення світлотехнічних характеристик знака – це завдання інженерне; друге – розстановка знаків у полі зору водія з урахуванням особливостей змінювання меж поля зору при різних швидкостях і інтенсивностях руху – належить до сфери інженерної психології [1, 8].

Згідно з ДСТУ 2586-94, мінімальні відстані видимості, що забезпечують безпеку руху при заданій швидкості, нормуються [1, 8]:

1. Психологічна прийнятність різних знаків неоднакова.
2. При сприйманні групи знаків у водіїв в оперативній пам'яті залишаються лише заборонні знаки.
3. Оптимальні умови сприймання дорожніх знаків (ДЗ) забезпечуються при сполученні: заборонного і попереджувального ДЗ, що пояснює причину введення обмеження; наказового і попереджувального ДЗ.

Знаки можуть бути встановлені на одній стойці. При роздільній установці першим розміщують попереджувальний знак. При виборі

місця установки знаку враховують: характер інформації, що передається; особливості зорового сприйняття знаку водієм; інтенсивність і швидкість руху транспортних засобів на даній ділянці. Залежно від інформації, яку водій одержує від дорожнього знаку, він може виконувати різні дії. Прочитавши знаки, водій бере до уваги інформацію і не змінює режим руху. Повідомлення від інших знаків можуть зумовлювати необхідність зниження швидкості або зупинки автомобіля [1, 8].

Своєчасна передача інформації особливо важлива на ділянках доріг, на яких відомості про дорожні умови і напрямки руху передають лише через дорожні покажчики. До таких ділянок належать насамперед перехрестя автомобільних доріг [1, 8].

За впливом на водія елементи дорожньої обстановки можна розділити на чотири класи: 1-й клас – транспортний потік, який визначає необхідність маневрів, обгонів, роз'їздів і т. ін.; 2-й клас – траса дороги; 3-й клас – перетин, примикання, автобусні зупинки, дорожні знаки і т. ін.; 4-й клас – елементи дорожньої обстановки: дерева, стовпи, дорожні знаки, що знаходяться на узбіччі або розділовій смузі [1].

Знання особистих якостей водія і їхньої ролі у забезпеченні надійності роботи необхідні при проектуванні доріг і виборі методів організації руху [1, 8].

Проектування транспортних технологічних процесів. В роботах [18, 19] розглянуті питання організації роботи водіїв при перевезенні пасажирів і вантажів з урахуванням умов руху на маршрутах і їх впливу на функціональний стан водія. Запропоновані закономірності зміни стану водія протягом робочого дня свідчать про необхідність врахування характеристик транспортних засобів, параметрів маршруту, віку і кваліфікації водіїв. Складання графіку роботи з урахуванням психофізіології водія дозволить знизити імовірність переходу систем його організму на рівень перенапруги, виснаження і зриву адаптації [18, 19].

Все вище вказане зведено в табл. 5.2 і табл. 5.3.

Таблиця 5.2 – Напрямки використання ергономіки для оптимізації трудової діяльності водія

Напрямки використання ергономіки для оптимізації трудової діяльності водія				
Водій [1-5, 10, 18, 19, 21]	Проектування робочого місця водія та ТЗ [1-5, 19]	Проектування автомобільних доріг [1-5, 9]	Проектування організації дорожнього руху [1-5, 13, 22, 28].	Проектування транспортних технологічних процесів [18, 19]
- професійна майстерність; - водійські навички та їх формування; - психологічна підготовка водія.	- розміри кабіни; - обзорність; - зручність доступу до органів управління; - положенням сидіння і розташуванням по відношенню до нього органів управління, наявності; - інформативність контрольно-вимірювальних приладів; - особливості середовища в кабіні (мікроклімат, освітленість, шум, вібрація).	- ввідстань видимості; - радіуси кривих в плані і профілі; - ділянки доріг з одноманітною дорожньою обстановкою; - плавність траси; - ширина проїзної частини дороги.	- дорожні знаки; - дорожня; - показники напрямків, світлофорна сигналізація.	- обґрунтування графіків роботи водіїв при здійсненні міських та вантажних перевезень з врахуванням психофізіологічного стану водія.

Таблиця 5.3 – Етапи дослідження психофізіологічних можливостей водія в системі

Етапи дослідження психофізіологічних можливостей водія в системі [6]					
А – Д – С					
Етап 1 Перехід від гужового до автомобільного транспорту		Етап 2 Повоєнні роки		Етап 3	
Відмова від геометричних концепцій проектування траси дороги з урахуванням можливостей людини	- необхідна відстань видимості; - тривалість реакції водія (прийнято 1с.); - зручність руху з урахуванням коефіцієнту попередньої сили (виражає відчуття людиною під час руху по закругленню автомобіля)	Урахування пр. при проектуванні доріг особливостей сприйняття водієм дорожньої обстановки (водій виступає в неявній формі)	- тривалість реакції водія; - ширина проїзної частини; - відстані видимості; - оптимальна просторова плавність і якість дороги; - оптимальна психічна напруженість водія	Дослідження безпосереднього сприйняття водієм дорожньої обстановки	- урахування інформаційних потоків на діяльність водія
В – А – Д – С					

Джерела інформації та їх вплив на діяльність водія.

Основною керуючою ланкою в системі дорожнього руху є водії транспортних засобів, які конкретно визначають напрямок і швидкість транспортних засобів у кожен момент руху. Всі інженерні розробки схем і режимів руху доводяться в сучасних умовах до водіїв за допомогою таких технічних засобів, як дорожні знаки, дорожня розмітка, світлофори, табло, направляючи пристрої, що власне

кажучи є засобами інформації [20]. Під час руху головним і необхідним джерелом одержання інформації водієм є дорожня обстановка (дорога; знаки; пристрої, що регулюють дорожній рух; учасники дорожнього руху, приладова дошка в салоні автомобіля). Інформаційне навантаження чи потік даних, що надходять до водія, постійно збільшуються за рахунок бурхливого росту інформаційних технологій.

На сьогоднішній день мобільний телефон, теле-, радіоапаратура, пришлахова реклама є невід'ємним додатковим джерелом інформації для будь-якого водія. Переключення уваги, навіть часткове, на джерело інформації може знизити надійність роботи водія, що у свою чергу збільшить імовірність виникнення ДТП.

В процесі руху автомобіля дорогою водій сприймає інформацію чотирма (з п'яти) органами відчуття [1]:

- зір сприймає дорожню транспортну обстановку та стан середи, зорове сприйняття залежить від швидкості руху транспортного засобу, освітлення дороги;
- дотиком сприймається механічний тиск від коливання при русі, холод, вітер, тепло;
- слух сприймає шум двигуна, підвіски і кузова автомобіля, шум від транспортних засобів, що рухаються на зустріч, і від тертя шин о покриття;
- нюх сприймає запахи від загазованості і запиленості повітря в автомобілі.

Вплив дорожніх умов і дорожньої інформації викликає в організмі людини: підвищення стомлюваності і часу реакції, зниження швидкості переробки інформації, тобто інформаційну загрузку водія. Стомлення водія може викликати монотонний рух, ритмічні ефекти (мерехтіння), осліплююче світло. Дорога і середа (Д – С) визначають психофізіологічні умови діяльності водія, так недостатня щільність інформації на дорозі, як і її надлишок, можуть сприяти нервово-емоційній напруженості водія [1].

Працездатність людини характеризується швидкістю реакції, тривалістю періодів стійкої роботи, варіативністю дій і обумовлена дією багатьох органів, регульованих механізмами, що управляють, по вказівці «центральної нервової системи».

Сприймаючи органами почуттів (зоровим аналізатором) дорожню обстановку, водій визначає режим руху автомобіля. При

аналізі відповідності обраного режиму руху дорожній обстановці, водій отримує додаткову інформацію про можливість безпечного проїзду та вносить змінення у вже визначений режим руху.

В роботі [1] виділено два основні періоди реакції водія на дорожню ситуацію: латентний (прихований) – прийом і переробка інформації; моторний – дії, що управляють.

Сукупність операцій, здійснюваних водієм, можна представити як багаторівневу систему, що складається з 3-х груп психофізіологічних процесів:

- діяльність аналізаторів (сприйняття інформації);
- робота центральної нервової системи (переробка і зберігання інформації);
- ефективна діяльність (у відповідь дії щодо реалізації ухваленого рішення).

Перетворення інформації в свідомості людини відбувається у декілька етапів:

I етап – прийом інформації, виділення корисних сигналів з шуму, формування первинного образу зовнішнього середовища;

II етап – оцінка інформаційної моделі об'єкту (ситуації) шляхом порівняння цієї моделі з еталонами – енграмами пам'яті, визначення дій, що найбільш доцільні в даній ситуації;

III етап – завершальний період реакції людини на зовнішнє середовище, реалізація ухваленого рішення [1].

Трансформація носіїв інформації з урахуванням послідовності її обробки і завдань, що вирішуються на тому або іншому етапі обробки, можна представити таким чином:

I етап. Натуральна інформація, що відображає реально існуючі об'єкти. Носіями є окремі елементи або дорожні ситуації;

II етап і III етап. Параметрична інформація. Носії – характеристики дорожніх ситуацій і дорожньої обстановки (параметри окремих елементів, відстані між автомобілем і елементами) [1].

Умови отримання інформації багато в чому визначають напруженість роботи водія і відповідність між прийнятою інформацією і об'єктивною реальністю. Для водія характерні умови сприйняття інформації, при яких через нестачу часу виникають ситуації, коли людина стає нездібною до досягнення поставленої мети або досягнення мети вимагає додаткових психофізіологічних і енергетичних витрат.

При керуванні транспортним засобом водій сприймає велику кількість джерел інформації, кожне з яких представляє сукупність властивостей (рис. 5.9).

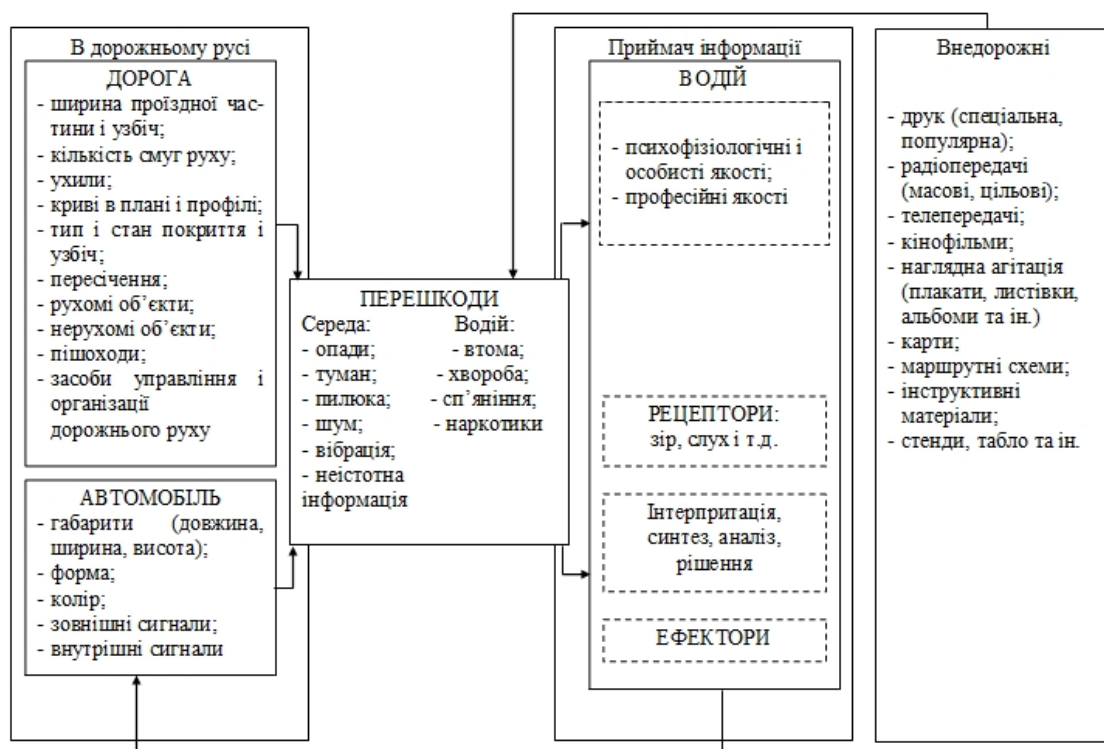


Рисунок 5.9 – Джерела інформації для учасників дорожнього руху

Існує ряд класифікаційних підходів до опису засобів інформації в дорожньому русі. Розглядаючи засоби інформації з позицій основного її користувача – водія, їх можна умовно розділити за ознаками: формування знань і місцю одержання. З позицій формування знань інформація може бути класифікована наступним чином (рис. 5.10) [1]:

- апріорна професійна інформація, що формує знання законів дорожнього руху і навичок по керуванню транспортним засобом. Її формування відбувається в процесі навчання і всього наступного професійного досвіду;
- макроінформація, що формує знання про напрямок руху по досягненню мети поїздки;
- мікроінформація, що формує знання про вибір водієм оперативного режиму руху.

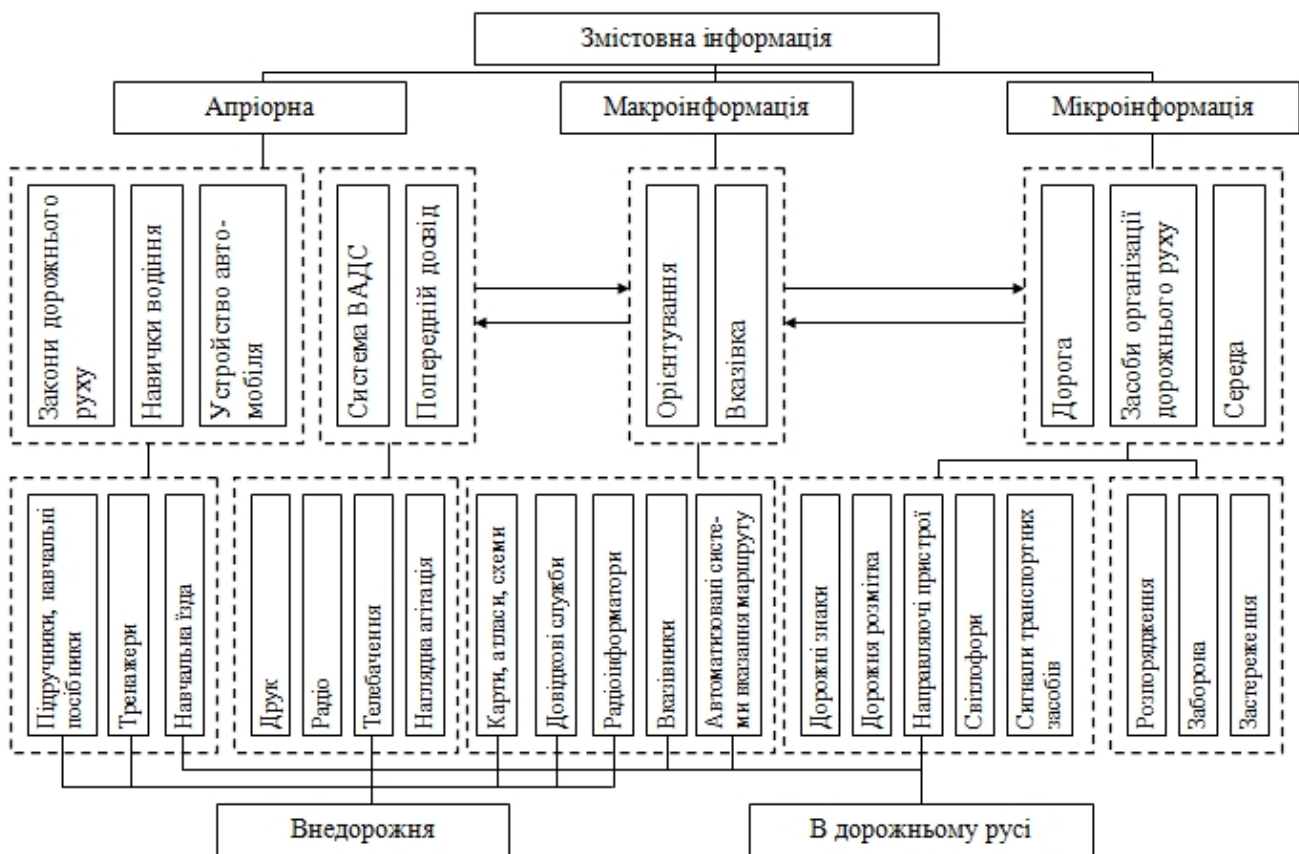


Рисунок 5.10 – Класифікація засобів інформації [1–5]

Водій приймає рішення і виконує дії не тільки на основі інформації, яку одержує в дорожньому русі, але також на основі тієї інформації, що закладена в його пам'яті, – апріорна інформація. Очевидно, що чим більше інформації перебуває у пам'яті водія, тим більше сенсового змісту водій може витягти з тієї інформації, що надходить до нього в процесі руху. Так, попереднє ознайомлення з маршрутом руху підвищує імовірність досягнення мети з меншими витратами, повне знання маршруту руху робить зайвою інформацію у вигляді дорожніх показників. Експеримент, проведений серед місцевих і приїжджих водіїв, підтвердив дані психологів про залежність правильності впізнання інформації від ступеня знайомства з нею (приїжджі помиляються в 1,5-2 рази частіше) [1–5].

Важливе значення має забезпечення водіїв макроінформацією, надання якої мінімізує сумарні витрати на досягнення мети поїздки. Недостатня забезпеченість водіїв макроінформацією призводить до помилок при виборі маршруту руху, отже, збільшенню пробігу, часу руху, енерговитрат і т.д. Для забезпечення водіїв макроінформацією

застосовують дорожні показники, системи орієнтування і інформування водіїв [1-5].

Мікроінформація формує тактику керування водія транспортним засобом. Невідповідність, недостатність чи надмірність мікроінформації призводить до конфліктних ситуацій і як наслідок підвищує імовірність виникнення ДТП. Джерелами мікроінформації є дорога і її параметри, засоби організації дорожнього руху, сигнали транспортних засобів, середовище руху. За ознакою місця одержання інформація може бути внедорожньою і в дорожньому русі [1-5].

Внедорожня інформація проявляється в підвищенні рівня апріорних знань учасників дорожнього руху. До внедорожньої інформації відносяться періодичні друковані видання (газети, журнали), спеціальні карти-схеми і путівники, інформація з радіо і телебачення, що звернена до учасників дорожнього руху з повідомленнями про типові маршрути прямування, метеорологічні умови, стан доріг, оперативні зміни у схемах організації руху та ін. [22].

Внедорожню інформацію можна розглядати як інформацію, що формує стратегію керування транспортним засобом. Стратегія керування автомобілем охоплює питання теоретичної і практичної підготовки. Стратегія керування автомобілем включає період від моменту ухвалення рішення про поїздку до її початку і у цих обставинах оперативна внедорожня інформація відіграє вирішальну роль [1-5].

Інформація в дорожньому русі з позиції цільової діяльності, згідно до класифікації [1-5] формує знання водія про напрямок руху (макроінформація) та про вибір оперативного режиму руху (мікроінформація). До основних джерел дорожньої інформації відносять технічні засоби організації руху [8, 20]: постійні дорожні знаки; розмітка дороги; інформаційні табло; показники напрямків руху; напрямні островці і стовпчики; дорожні знаки і показники напрямків зі змінною інформацією; показники рекомендованих швидкостей руху; світлофори на в'їздах, з'їздах і перетинах та ін.

Крім цього за ознакою місця одержання окремо можна виділити інформацію, що забезпечується на робочому місці водія [20]. Системи, що надають інформацію водієві безпосередньо в салоні транспортного засобу, характеризуються значною різноманітністю принципів передачі та виведення інформації [19].

Транспортні інформаційні системи за принципом надання інформації поділяють на [21]: інформаційні системи, що діють на весь транспортний потік; інформаційні системи в транспортному засобі.

В інформаційній системі, що діє на весь транспортний потік, представлення інформації здійснюється шляхом розміщення пристроїв виведення інформації над проїжджою частиною або збоку від неї. Інформаційні системи в транспортному засобі здійснюють забезпечення конкретного водія інформацією шляхом розміщення пристроїв комунікації та виведення інформації безпосередньо в автомобілі. На відміну від представлення інформації для всього транспортного потоку, що звичайно реалізується шляхом розміщення інформаційних табло, система надання інформації безпосередньо в транспортному засобі має декілька форм її представлення водію, а також велику різноманітність принципів її передачі [21].

За принципом представлення інформації системи в транспортному засобі можна поділити на такі, що надають [21]: лише звукову інформацію; в основному звукову та частково текстову чи графічну; графічну інформацію.

Найбільш простим засобом інформування водіїв, який розміщений в транспортному засобі є радіоприймач, яким обладнані практично всі транспортні засоби. Інформування водіїв відбувається шляхом надання спеціалізованих дорожніх радіоповідомлень. Прості радіоприймачі надають лише мовні повідомлення про транспортні проблеми та ДТП, ділянки проведення дорожніх робіт, закриття ділянки дороги тощо (за умови, що радіоприймач ввімкнено та налаштовано на хвилю, якою передаються дорожні повідомлення під час їх виходу в ефір) [1-5, 18, 21]. Також радіоповідомлення можуть передаватися у текстовому чи графічному вигляді шляхом виведення інформації на дисплей при наявності цифрового радіо [21].

Надання водіям графічної інформації забезпечується за рахунок бортових навігаційних систем, які мають функцію відображення актуальних дорожніх умов та призначенні для ведення транспортного засобу за вказаним маршрутом [1–5].

5.3 Аналіз впливу інформаційних потоків на характеристики діяльності водія

В процесі керування транспортними засобами 90-94 % всієї інформації, що поступає з зовнішнього середовища сприймаються зоровим аналізатором [20]. Основним фактором, що впливає на концентрацію уваги водія та основну долю інформації, що він отримує, є швидкість руху [22-25]. Залежність зміни площі поля концентрації уваги від швидкості руху, представлені в роботах [1–5], свідчать про те, що при збільшенні швидкості руху від 40 до 120 км/год, площа поля концентрації уваги зменшується більше ніж у чотири рази, при цьому знижується не тільки здатність до розпізнавання сітчаткою зорового аналізатора, але й кількість інформації, що отримується.

Інформацію, що поступає до водія при русі з погляду складності завдань можна розділити на чотири класи: 1-й клас – транспортний потік; 2-й клас – траса дороги; 3-й клас – перетини, примикання, зупинки МПТ, забудова, дорожні знаки; 4-й клас – елементи дорожньої обстановки: дерева, стовпи, дорожні знаки, що знаходяться на узбіччі і розділова смуга.

Однією з важливих особливостей людини є наявність емоцій. Емоції – фізіологічний стан організму, що має яскраво виражене суб'єктивне забарвлення і охоплює всі види відчуттів і переживань. У теоретико-інформаційному плані емоції є слідством дефіциту інформації [1–5].

В умовах дефіциту інформації людина прагне компенсувати її недолік за рахунок інтенсивнішої і чіткішої роботи всіх органів, що знаходить віддзеркалення в підвищенні емоційної напруги. Величина емоційної напруги по П. В. Симонову визначається виразом [1]:

$$H_e = P(I - I_B) , \quad (5.1)$$

де H_e – потреба (важливість операції);

I – інформація, яка необхідна для здійснення операції;

I_B – суб'єктивна інформація, що має водій.

Різниця між необхідною і суб'єктивною інформацією є дефіцитом інформації. Дефіцит інформації, так само як і її надлишок

викликають в організмі людини певні зрушення, зовнішніми проявами яких є зміна частоти серцебиття, виділення поту, зміна кожно-гальванічної реакції (КГР), обумовлена емоційною напругою [1].

Під емоційною напругою розуміється стан, що характеризується активацією різних функцій організму. Якщо емоційна напруга є процесами регулювання, що мобілізують різні функції організму з метою успішного виконання діяльності, то емоційна напруженість приводить до розпаду дії [1]. Однак при оптимальному співвідношенні випадкових, закономірних подій і кількості нової інформації водій може отримувати естетичну насолоду.

Носіями естетичної інформації, тобто інформації, що сприяє виникненню певних естетичних відчуттів (позитивних емоцій), є співвідношення, пропорції розмірів, кольору, характеристики елементів дорожньої обстановки, їх сукупності. Кількість естетичної інформації в тому або іншому елементі дорожньої обстановки або сукупності останніх визначатиметься ступенем відповідності, пропорцією суміжних відрізків дороги і розмірів дорожніх споруд [1].

Мірою естетичної інформації може служити величина і зміни ступеня нерегульованості (невизначеності) структури об'єкту, ситуації в порівнянні з попереднім об'єктом. Останнє практично визначає кількість нової інформації, яку несе даний предмет. Оптимальний ступінь невизначеності об'єкту, а саме кількість нової інформації в об'єкті з урахуванням психофізіологічних особливостей людини, може бути прийнята рівною – $0,618K$ (де K – невизначеність попереднього об'єкту даного класу).

Питанням естетичних характеристик дорожньої обстановки та виміру естетичної інформації займалися такі вчені, як Бабков В.Ф., Орнатський Н.П., Трескинський С.А. та ін.

Кількість нової або корисної інформації по Бонгарду М.М. [1] визначається через розгляд системи, що складається з вирішального алгоритму, каналу зв'язку і що декодує пристрої. При рішенні конкретної задачі методом проб і помилок система витягує деякі нові відомості, необхідні для вирішення поставленого завдання.

Недоліком даного методу визначення нової або корисної інформації в процесах за участю людини є те, що не враховуються психофізіологічні особливості людини, складові процесу формування «образу» зовнішнього середовища в свідомості людини, його здатність прогнозувати цей стан і тим самим зменшувати

невизначеність завдання, а отже, і об'єм нової інформації, яка повинна бути перероблена при рішенні даної задачі.

Іншою особливістю людини є його здатність прогнозувати стан зовнішнього середовища і, отже, визначати свої дії щодо управління автомобілем. Прогнозування найближчої в часі операції і безпосередні дії з її реалізації здійснюються водієм на основі двох типів пам'яті – короткочасної і довготривалої. Пам'ять – це психічний процес відображення, збереження і відтворення минулого досвіду. У інформаційному плані процес прогнозування – це перехід певного об'єму інформації з короткочасної пам'яті в довготривалу. Нова інформація примушує людину реагувати на зміни зовнішнього середовища і робити дії, направлені на ліквідацію розриву між станом зовнішнього середовища і ходом виробничого процесу, режимом руху автомобілі і т. ін. [1–5].

Процес прогнозування того чи іншого явища базується на статистичних даних, тому інформація, що поступає водієві, має статистичний характер.

Максимальну інформаційну ємність кожного з цих елементів можна визначити за величиною його невизначеності (ентропії), що за умови рівномірності появи події визначається [1–5]:

$$H_0 = \log K. \quad (5.2)$$

За умови імовірнісного характеру інформації, ентропія елементу дорожньої обстановки в потоці інформації визначається [1–5]:

$$H_1 = -\sum P_i \log P_i. \quad (5.3)$$

Наведена залежність дозволяє визначити інформаційну ємність на етапі розпізнавання.

Інформаційна ємність оперативної інформації визначається через кількість елементарних дій [1–5]:

$$\sum I_j = H_1 m', \quad (5.4)$$

де H_1 – середня ентропія однієї мікрооперації;
 m' – кількість мікрооперацій.

Окремі елементи будь-якого повідомлення, зокрема елементи дорожньої обстановки статистично взаємозв'язані. Остання обставина призводить до того, що кожен подальший елемент повідомлення фактично володіє меншою ентропією, ніж попередній [1–5].

Стосовно умов роботи підсистеми «водій – дорожня обстановка» реакція водія є слідством прийому і переробки нової інформації, що поступає в процесі руху. При цьому формування образу дорожньої обстановки і тривалість його збереження в пам'яті водія залежатимуть від об'єму нової інформації (сили подразника), часу руху в даних дорожніх умовах (тривалості дії подразника) і частоти підкріплень – частоти виникнення цих умов. Проведені дослідження [1–5] визначення впливу статичних характеристик розподілу елементів дорожньої обстановки, інтервалами між ними та тривалості руху ділянкою на достовірність прогнозу водія, свідчать про те, що зі збільшенням інтервалу між типовими ділянками точність прогнозу водія про умови руху знижується; збільшення тривалості руху в однотипних умовах сприяє збільшенню точності прогнозу, що свідчить про тверде запам'ятання інформації.

За даними Е.М. Лобанова, найвищої надійності роботи (водія як оператора системи «автомобіль – водій – дорога» відповідає оптимальному рівню інформаційного навантаження. Інакше мале інформаційне навантаження на автомагістралях з низькою інтенсивністю руху водій компенсує високою швидкістю. Дослідження [22–25] показали, що найбільша надійність водія забезпечується при рівнях завантаження для двох смугових доріг – 0,15-0,60, для чотирьох смугових – 0,05-0,40.

Аналіз існуючих досліджень щодо впливу інформації про транспортний потік на характеристики діяльності водія показав, що частина інформації (у долях одиниці) від повної інформації, необхідної для здійснення конкретної операції руху (маневру) (P_c) залежить від ряду чинників, основними з яких є: стаж професійної діяльності водія, його вік, тип об'єкту середовища і тип автомобіля, швидкість руху, положення об'єкту середовища щодо напрямку руху і т.п. При розрахунках щодо визначення емоційної напруги водія легкового автомобіля під час взаємодії з іншим легковим автомобілем потоку величина може бути прийнята за графіком (рис. 5.11) [1-5].



Рисунок 5.11 – Залежність величини P_c від швидкості руху автомобіля відносно об'єкта середи [20]

При дії декількох подразників (елементів дорожньої обстановки) емоційна напруга водія може бути визначена за формулою

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \mathcal{E}_i, \quad (5.5)$$

де $\mathcal{E}_i$ – емоційна напруга від дії i -го об'єкту середовища у момент роз'їзду з ним.

Чутливості водія до змін умов руху залежить від рівня завантаження траси дороги або від щільності транспортного потоку. Так зниження чутливості водія при високих рівнях завантаження (більше 0,7) свідчить про те, що емоційна напруга визначає колонний рух, що виключає обгони і маневрування [1–5].

Аналіз існуючих досліджень щодо впливу інформації про трасу дороги на характеристики діяльності водія показав, що нормування мінімально допустимих відстаней видимості поверхні дороги залежить від таких розрахункових параметрів, як час реакції водія і характеристика якості покриття. Небезпека ділянок доріг з малою відстанню видимості пов'язана перш за все із зміною інформаційного навантаження водія. Глибина простору, звідки до водія поступає інформація, повинна охоплювати необхідну кількість об'єктів, а водію повинно бути запропоновано час, достатній для прийому і переробки інформації про них. Тільки в цьому випадку можна говорити про створення дороги, яка безпечна для руху [1–5].

Вивчення впливу динаміки зміни емоційної напруги водія на розвиток стомлення, точність дії і надійність його роботи показали, що всі ці характеристики мають оптимальні показники при визначеному рівні емоційної напруги. У дослідженнях, проведених Б.А. Щитом, був встановлений зв'язок між рівнем напруженості і відстанями видимості. Аналіз динаміки зміни емоційної напруги при русі дорогами з різними відстанями видимості показує, що тривалість перебування водіїв в стані підвищеної емоційної напруженості збільшується у міру зниження відстані видимості і частоти зустрічі таких ділянок [1–5].

В процесі експериментів встановлено, що нервово-психічна напруженість водіїв при проїзді кривими малих радіусів зростає. При значеннях коефіцієнта поперечної сили $\mu \leq 0,05$ водій відчуває себе розслабленим, в корі головного мозку відбувається інтенсивний розвиток гальмівних процесів. При значеннях $\mu \geq 0,18$ збудливі процеси посилюються, що приводить до швидкого стомлення водія. Розслаблення, як і зайве збудження, не дозволяє водію об'єктивно оцінювати інформацію про дорожні умови, що може привести до дорожньо-транспортної події. Тому при призначенні геометричних елементів кривих в плані на гірських дорогах необхідно дотримувати умову: величина коефіцієнта поперечної сили, що реалізована проїздом по кривій, не повинна бути більше 0,18 і менше 0,05. Оптимальними представляються значення $\mu = 0,05 - 0,12$ [1–5]. При постійному рівні завантаження емоційна напруженість водія при зменшенні радіусу кривої з 2000 м спочатку поволі збільшується зворотно пропорційно до радіусу кривої до деякої критичної величини радіусу. Після цієї критичної точки зростання емоційної напруги різко зростає. Порівняння кривої з рівнями напруженості, які відповідають певній надійності роботи водія, дозволило встановити і граничні величини радіусів кривих в плані. Як критичний розглядається такий радіус кривої, після перевищення якого, емоційна напруга водія змінюється неістотно; як допустимий радіус кривої приймається радіус, що викликає емоційну напругу, відповідну 95 % надійності роботи водія, а мінімальний – 85 % надійності. Як показали дослідження В. У. Новізенцева, ці величини змінюються залежно від щільності транспортного потоку ділянок [1–5].

Необхідною умовою зручного і безпечного руху на ділянці дороги є її плавність. При цьому зорова плавність ділянки, при якій погляд водія не зустрічає різких переломів і провалів траси, оцінюється величиною відхилення точок криволінійного відрізка осі дороги від прямої. Ця величина призначається з урахуванням гостроти зору [1–5], яка характеризується мінімальною відстанню між двома об'єктами, що помітні людині. Для спрощення обліку характеристик зору людини при обґрунтуванні радіусів кривих в плані і профілі в роботі [1–5] представлена таблиця мінімальної відстані між початком горизонтальної кривої і переломом профілю, що забезпечить своєчасне розпізнавання водієм повороту дороги.

Як необхідна умова забезпечення плавності траси Г. Лоренц запропонував керуватися «законом безперервності», що вимагає безперервної і плавної зміни кривизни траси, що виключає за рахунок застосування перехідних кривих появу стрибкоподібних змін кривизни просторової лінії. І. В. Бегма і Р. С. Томаревська [1–5] як зорову плавність дороги запропонували геометричні характеристики перспективного зображення дороги – кут сходу дотичних до видимого перспективного зображення внутрішньої кромки проїжджої частини і відстань від вершини кута до видимої кривої, що вписана в цей кут [1–5].

У.Ф. Бабков в якості основної характеристики зорової плавності дороги розглядає зміну кривизни ліній видимого зображення дороги [1–5]. Як показали дослідження, цей підхід найправильніше відображає основні закономірності зорового сприйняття водієм дорожніх умов [1].

Показники, запропоновані різними авторами, мають кореляцію із зоровим відчуттям при сприйнятті перспективи дороги в явній або неявній формі, все ж таки пов'язані з оцінкою видимої кривизни ліній. Такий підхід до оцінки зорової плавності і ясності дороги розвивався в роботах В. У. Сафонова, Б. Р. Корнєєва, А. А. Кузікова і П. Я. Дзеніса [1]. Були спроби пов'язати зорову ясність і плавність дороги з кутом обхвату перспективного зображення дороги, наприклад, кривою в плані, але вони не дали яких-небудь результатів, оскільки в них не аналізувалися характеристики зображення дороги і не вивчалися суб'єктивні відчуття плавності ліній залежно від їх контурів [1]. Критерій плавності траси визначається перш за все механізмом зорового сприйняття людиною просторових співвідношень і характеристик об'єктів.

Розташування елементів дорожньої обстановки уздовж дороги, їх концентрація на різних її відрізках, зміна типових ділянок траси залежать від великої кількості природних чинників, характеру діяльності людини і ін., причому поява різних типів дорожньої обстановки для водія матиме різну вірогідність, в окремих випадках близьку до нуля [1]. Збільшення в свідомості водія кількості енгам пам'яті, на яких «записані» програми поведінки в різних ситуаціях, очевидно, підвищує вірогідність його поведінки. Останнє приводить до зменшення невизначеності дій, а отже, і кількості нової інформації, яку водій повинен переробити у зв'язку з тією або іншою дорожньою ситуацією.

Доцільність обмеження довжини ділянок доріг з одноманітною дорожньою обстановкою обумовлена наступним: підтримка необхідної емоційної напруги водія при русі дорогою може бути забезпечена тільки шляхом постійного притоку нової інформації, яка, у свою чергу, є слідством невизначеності дорожньої обстановки, що визначається змінами виникнення перед водієм тієї або іншої ситуації і тим, наскільки ця ситуація прогнозована водієм. Стабілізація вірогідності виникнення дорожніх ситуацій приводить до зменшення притоку нової інформації, яку водій переробляє на відрізок дороги. Цією проблемою займалися дослідники різних країн (Італія, Нідерланди, Німеччина та ін.), дослідження динаміки розвитку стомлення водія і зміни його емоційної напруги, показали, що основна небезпека довгих прямих – зниженні інформаційного завантаження водія. Емоційна напруга водіїв на довгих прямих значно нижча, ніж на дорогах із звивистою трасою. Зниження напруженості спостерігається через деякий час після в'їзду на прямую.

Через адаптаційну здатність організму водій достатньо успішно управляє автомобілем в різних за складністю дорожніх умовах. Проте при цьому зміни емоційної напруги ($\pm \Delta \mathcal{E}$) не повинні перевищувати порогові величини λ_0 [1]:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_k, \quad (5.6)$$

де $\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_k$ – відповідно емоційна напруга на початку другої і в кінці першої ділянки.

У випадку $\Delta \mathcal{E} \leq \lambda_0$ у водія виникає прагнення підвищити або знизити швидкість руху до величини, що забезпечує оптимальний в

даних умовах рівень емоційної напруги. Таким чином, прискорюючи або уповільнюючи процес вироблення у водія динамічного стереотипу дій щодо конкретної дорожньої обстановки, представляється можливим здійснювати направлене проектування параметрів дорожньої обстановки і, зокрема, ритму траси і довжини її відрізків [1].

Аналіз існуючих досліджень щодо впливу інформації 3-го, 4-го класів на характеристики діяльності водія. До даних класів відноситься наступна інформація: 3-й клас – перетини, примикання, зупинки МПТ, забудова, дорожні знаки; 4-й клас – елементи дорожньої обстановки: дерева, стовпи, дорожні знаки, що знаходяться на узбіччі і розділова смуга.

Розроблено методику визначення ширини проїжджої частини дороги з урахування емоційного навантаження водія, що базується на залежностях інтервалу часу впливу на водія автомобілів (його емоціонального стану), що рухаються з ліва і з права, від загальної кількості автомобілів в потоці; залежностях впливу дорожньої обстановки (кілометровий стовп або знак, щит маршрутного вказівника, дерево та ін.) на емоціональне напруження водія; залежностях зміни емоційного напруження водія від відстані до перешкод з ліва і з права [1].

Визначають ширину проїжджої частини дороги як суму оптимальних відстаней між автомобілем в поперечному перетині дороги, габаритів автомобілів і двох оптимальних відстаней від автомобілів крайніх рядів до кромки проїжджої частини, які залежать від положення кілометрових стовпів, знаків, покажчиків, стовпів освітлення, ширини узбіччя і їх стану, смуг озеленення і т. ін. Оскільки одна і та ж оптимальна емоційна напруга може бути одержана при різному співвідношенні між шириною проїжджої частини і шириною узбіччя, ширину проїжджої частини призначають на основі техніко-економічних розрахунків [1].

З метою підвищення ефективності планувальних рішень перетинів, організації руху на ділянках доріг використовуються дорожні знаки і покажчики. Досліди, проведені Е. М. Лобановим [1], показали, що при сумарній інтенсивності руху на дорозі більше 200 авт./год при денному освітленні (2000-4000 Лк) практично всі елементи дорожньої обстановки, кутові розміри яких менше 10', водіями не сприймаються. З пониженням освітленості кутові розміри елементів обстановки, що не сприймаються збільшуються. Зміст

знаку розшифровується водієм відразу ж після розпізнавання символу, тому можна вважати, що водій одержує інформацію, що передається йому дорожнім знаком, на відстані його видимості [1, 8].

На відміну від дорожніх знаків процес сприйняття дорожніх показників володіє цілим рядом особливостей, зневага якими при виборі форми і розмірів показника може утруднити або зробити неможливим читання на ньому напису. Враховуючи, що написи на показниках призначені для передачі водію інформації про відстані до якого-небудь пункту або про зміну напрямку руху, видимість всього напису на показнику повинна бути забезпечена на відстані, при якій за час читання показник не вийде за межі поля концентрації уваги водія. При виборі розмірів шрифту і положення показника у полі зору водія слід враховувати [1, 8]: швидкість і безпомилковість прочитання написів показників залежить від кількості букв і розміру шрифту, швидкості переміщення показника у полі зору водія; тривалість читання написів залежить від кількості букв на показнику і від кількості слів.

Складність сприйняття всього обсягу інформації, що надходить до водія, полягає в обмеженні часу на її обробку і ухвалення правильного рішення, унаслідок чого зростає імовірність виникнення ДТП. У дослідженнях, проведених холдингом «РОМИР Мониторинг» за замовленням Асоціації комунікаційних агентств Росії і з доручення технічного комітету зі стандартизації №467 Ростехрегулювання «Зовнішня реклама і інформаційні знаки для громадських місць» провело дослідження впливу зовнішньої реклами на водіїв, приведено рейтинг факторів здатних привести до ДТП, а також рейтинг факторів створення реальних аварійних ситуацій на підставі опитування 1255 респондентів. У результаті проведеного дослідження в рейтингу факторів, на думку опитаних водіїв, теоретично здатна привести до виникнення аварійних ситуацій, динамічна і традиційна зовнішня реклама – поділяють 12 місце (по 7 %). Для порівняння, 9 % опитаних назвали аварійним фактором поведінки співробітників ДІБДР, 11 % – автомобілі спецслужб і уряду з пробісними маячками, 12% – мобільний телефон і пішоходи, що знаходяться недалеко від дороги. Найбільшу небезпеку, на думку опитаних, представляє специфічне поведінка іншого транспортного засобу (58 %), неадекватне поведінка пішохода, що переходить проїжджу частину (57 %) і природні феномени (42 %). Аналогічна ситуація складається і у відношенні факторів, що послужили реальними причинами

виникнення аварійних ситуацій серед опитаних водіїв. Тут зовнішня реклама (традиційна і динамічна) також поділяють 12 місце (по 1 %), 2 % опитаних назвали реальними причинами аварій пасажирів, що знаходяться в керованому автомобілі, поведження співробітників ДІБДР і пішоходів, що знаходяться недалеко від дороги. По досвіду 3 % респондентів аварії викликали мобільні телефони і аварійні роботи на проїжджій частині, 6 % опитаних назвали дійсною причиною аварій погане емоційне і фізичне самопочуття водія. Домінуючими ж причинами аварійних ситуацій респонденти назвали специфічне поведження іншого транспортного засобу (21 %), природні феномени (12 %), неадекватне поведження пішохода, що переходить проїжджу частину (12 %) і технічну несправність автомобіля (10 %). Однак слід відмітити, що дані, отримані опитувальними методами виражають суб'єктивні думки опитаних (респондентів). Тому їх потрібно зіставляти з інформацією більш об'єктивного характеру, отриману в ході експериментальних досліджень або в сполученні з іншими методами.

Дослідженням подібної проблеми займалися вчені Інституту транспорту, Вірджинія. У їхніх дослідженнях про вплив чи наявності відсутності рекламних щитів на характеристики водіння використовувалися натурні методи обстеження. Водії, що брали участь у даному експерименті не знали тему дослідження, їхній автомобіль при цьому був оснащений камерами зйомки переднього огляду, двох видів огляду обличчя водія, також автомобіль був оснащений іншим допоміжним технічним устаткуванням (датчиком швидкості, датчиком відхилення від смуги руху, GPS- навігацією). У результаті дослідження було виявлено що присутність рекламних щитів не викликає змін у характеристиках водіння у відношенні візуального поведження водіїв, збереження чи швидкості утримання смуги руху [26].

Однак у даній роботі не був врахований психофізіологічний стан водія в процесі проведення експерименту. Необхідно також враховувати, що час затримки погляду на визначеному об'єкті характеризує лише час прийому отриманої інформації, але ніяк не відбиває час, витрачений на переробку отриманої інформації, а також на час ухвалення відповідного рішення в результаті її обробки. Відомо, що існує оптимальна кількість вхідної інформації, тривалість обробки якої активізує увагу водія, що відповідає безпечному керуванню автомобілем [24]. Короткочасне відволікання уваги від

головного джерела чи інформації, короткочасне перевантаження інформацією збільшує час реакції на ситуацію, що створилася на дорозі, що може приводити до збільшення ризику виникнення ДТП.

Цікаві також дослідження впливу використання мобільного телефону під час руху на водія. Наприклад, компанія «Билайн» разом з НПО «Нейроком» в 2007 року провели дослідження на тему «Вплив мобільного телефону на водіння автомобілем». У результаті експерименту, у якому взяли участь 10 водіїв, з'ясували, що під час телефонної розмови увага водія знижується і відновлюється через 1-2 секунди після закінчення розмови, гарнітура hands-free не знижує ризик переключення уваги водія з керування автомобілем на розмову по мобільному телефону [25]. Однак лише в Австралії та Швейцарії цілком заборонені телефонні розмови за кермом, при чому у деяких штатах Австралії, у Бельгії, Кенії, Малайзії та Сінгапурі, крім великого штрафу за це правопорушення передбачене тюремне ув'язнення. В Україні, Росії та інших країнах введена заборона на розмови по мобільному телефону за кермом без гарнітури hands-free, виключенням поки є деякі штати в США, Канаді, Кувейті, у Європі – в Швеції. В Іспанії дозволено використовувати лише спеціально встановлені комплекти голосового зв'язку. Наприклад, у муніципальному транспорті Болгарії заборонені розмови по мобільному телефону як водіям так і пасажиром [1].

У 2009 році Хабаровська філія «ВымпелКом» разом з Тихоокеанським державним університетом провели дослідження на тему «Вплив мобільного телефону на керування автомобілем». У ході проведення експерименту оцінка впливу розмови по мобільному телефону на увагу водія здійснювалася за рахунок визначення психофізіологічного стану водія шляхом виміру частоти серцевих скорочень (ЧСС). У результаті проведеного експерименту з'ясувалося, що майже у всіх водіїв послаблюється контроль над дорожньою обстановкою (зниження швидкості в середньому на 30 %; концентрація уваги спрямована на смугу руху, при цьому ігнорується периферійна інформація до повної зупинки і ін.) при одночасному веденні машини і розмові по мобільному телефоні, у зв'язку зі зниженням функції зовнішньої уваги [26].

Виходячи з представленого аналізу вченими вже вивчений вплив наступних видів інформації на характеристики діяльності водія рис. 5.12.

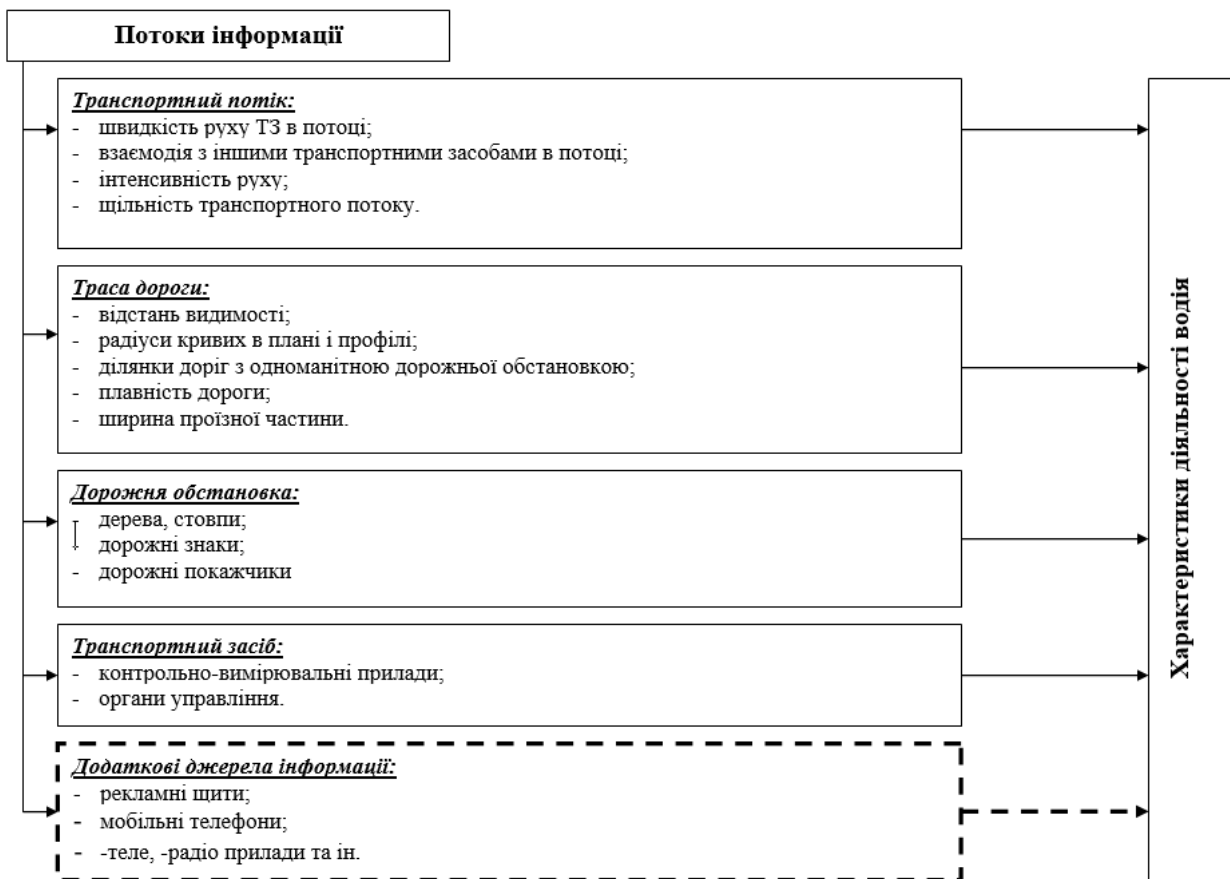


Рисунок 5.12 – Аналіз інформації, яка впливає на характеристики діяльності водія

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Проаналізовано методи дослідження результатів діяльності людини в ергономічних системах.
2. Проведено аналіз інформаційних потоків, що впливають на характеристики діяльності водія в системі ВАДС, а саме: складності її сприйняття та ухвалення правильного рішення, внаслідок чого зростає ймовірність виникнення ДТП.
3. Виділено основні групи джерел інформації для водія транспортного засобу і встановлено, що в існуючих дослідженнях недостатньо уваги приділено впливу на результати діяльності водія інформації від «додаткових джерел», а саме: мобільні телефони, рекламні щити, тощо.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Афанасьєва І. А. Вплив інформаційних потоків на результати діяльності водія в системі "водій–автомобіль–дорога–середовище": дис.. ... канд. техн. наук: 35.01.04 / Іветта Анатоліївна Афанасьєва. – Харків, 2013.
2. Афанасьєва І. А. Вплив інформаційного навантаження на параметри основної діяльності водіїв (гальмівні процеси) / І. А. Афанасьєва, В. К. Доля, І. П. Енглезі // Зб. наук. Праць «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.» – Х.: Укр. ДАЗТ, 2011. - № 3. – с. 43 – 46.
3. Афанасьєва І. А. Вплив інформаційного навантаження на параметри основної діяльності водіїв (збуджувальні процеси) / І. А. Афанасьєва, В. К. Доля, І. П. Енглезі // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 1/2 (49). – с. 65 – 68.
4. Гюлев Н. У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія: [навч. посібник] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 186 с.
5. Системологія на транспорті. Ергономіка / Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін. ; під ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2008. – 256 с. – (5 кн. / Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 5).
6. Brown I. D. Effect of a car radio on driving in traffic//Ergonomics. 1965. № 8. P. 475–479.
7. Durth W. Die optischen Informationen als Kriterien fur: die Gestaltung der Uberholstrecke//Strafienbau, Verkehrstechnik u. Verkehrssicherheit. 1971. №15. P. 31–32.
8. Поліщук В. П. Інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху : навч. посібник / В. П. Поліщук, Н. Т. Кунда. – К.: ІЗМН, 1998. – 132 с.
9. Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н. Системное проектирование автомобильных дорог. – Москва-Белгород: Изд. АСВ, 1998. – 183 с.
10. Мишурин В. М., Романов А. Н. Надежность водителя и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1990. – 167 с.
11. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения / В. И. . Коноплянко – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
12. Shinar D. Psychology on the road. The human factor in traffic safety. New York: Wiley. 1978

13. Treat J. R., Tumbas N. S., McDonald S. T., Shinar D., Hume R. D., Mayer R. E., Stansifer R. L. & Castellan N. J. Tri-level study of the causes of traffic accidents// Reports No. DOT-HS-034-3-535-77 (TAC). Indiana University. March 1977, zit. n. Shinar (1978)
14. Marek J. & Sten T. Traffic environment and the driver. Driver behavior and training in international perspective. Springfield: Thomas. 1977
15. Funatsu T. Measurement and management of performance of man-machine system//IATSS (International Association of Traffic and Safety Sciences) Research. 1978. JVs 2. P. 74–85.
16. Klinger P. Das V-Gerät, seine Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten. Kleine Fachbuchreihe. Band 7. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit. 1969.
17. Richter B. Ein dynamischer Fahrsimulator zur Untersuchung des Systems Fahrer – Fahrzeug –Straße//Zeitschrift für Verkehrssicherheit. 1976. №22. P. 8–12.
18. Давідіч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 292 с.
19. Давідіч Ю. О. Ергономічне забезпечення транспортних процесів: навч. посібник / Ю. О. Давідіч, Є. І. Куш, Д. П. Понкратов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 392с.
20. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
21. Ткаченко А.Є. Системи інформування водіїв про умови дорожнього та актуальну транспортну ситуацію // Безпека дорож. руху України. – К., 2005. – № 1-2 . – С. 76-81.
22. [Електроний ресурс]. – Режим доступа: www.akarussia.ru/files/docs/issledovanie_vliyaniya_naruzhnoy_reklamy_na_voditeley.ppt
23. [Електроний ресурс]. – Режим доступа: <http://choanri.ru/articles/articles/outer/24/>
24. [Електроний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.procontent.ru/news/5153.html>
25. [Електроний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.procontent.ru/news/14844.html>
26. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.

ЗМІСТ

ВСТУП		3
Розділ 1	ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ ПІД ЧАС ДОРОЖНЬОГО РУХУ	5
1.1	Методи призначення заходів щодо зниження енерговитрат і охорони природи.....	6
1.2	Критерії та показники ефективності оптимізації.....	12
1.3	Оптимізація показників стану системи.....	19
1.4	Модель оптимізації обсягів робіт зі зниження витрат палива і кількості викидів, що забруднюють атмосферу.....	23
1.5	Оцінка швидкостей руху та шкідливих викидів автомобілів на міських вулицях і автомобільних дорогах.....	24
	Висновки до розділу 1.....	35
	Перелік посилань.....	36
Розділ 2	ЗАХИСТ СЕЛЬБИЩНОЇ ТЕРИТОРІЇ ВІД ІНГРЕДІЄНТНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ	44
2.1	Аналіз та оцінка впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище.....	45
2.2	Моделювання інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного простору.....	47
2.3	Обґрунтування параметрів інженерних конструкцій для захисту сельбищної території.....	65
	Висновки до розділу 2.....	71
	Перелік посилань.....	72
Розділ 3	ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ ЗА РАХУНОК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОСТІ ТА ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ	74

	3.1 Аналіз конструктивних рішень влаштування асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.....	76
	3.2 Розрахунок зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі...	83
	3.3 Визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі...	84
	3.4 Визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі...	88
	3.5 Визначення напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження та температурного деформування.....	91
	3.6 Оцінка зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі для умов Харківської області.....	92
	Висновки до розділу 3.....	98
	Перелік посилань.....	99
Розділ 4	ЛОГІСТИЧНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ	104
	4.1 Аналіз основних принципів міської логістики (City Logistics).....	106
	4.2 Реалізація принципу стійкості та адаптивності системи міського пасажирського транспорту.....	108
	4.3 Реалізація принципу управління якістю перевезень на міському пасажирському транспорті.....	114
	Висновки до розділу 4.....	134
	Перелік посилань.....	135
Розділ 5	ВПЛИВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ НА РЕЗУЛЬТАТИ ДІЯЛЬНОСТІ ВОДІЯ В СИСТЕМІ «ВОДІЙ-АВТОМОБІЛЬ-ДОРОГА-СЕРЕДОВИЩЕ»	140
	5.1 Основні етапи дослідження діяльності людини в системі ВАДС.....	141
	5.2 Характеристика складових системи ВАДС....	144

5.3 Аналіз впливу інформаційних потоків на характеристики діяльності водія.....	165
Висновки до розділу 5.....	177
Перелік посилань.....	178
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	183
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	184
ДОДАТОК	185

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АТЗ	– автотransпортні засоби
ВДМ	– вулично-дорожня мережа
ГДК	– гранично-допустима концентрація
ДЗ	– дорожні знаки
ДР	– дорожній рух
ДВЗ	– двигун внутрішнього згоряння
ДТП	– дорожньо-транспортна пригода
НС	– навколишнє середовище
МПТ	– міський пасажирський транспорт
МЕТ	– міський електричний транспорт
ОДР	– організація дорожнього руху
ОПП	– організація пасажирських перевезень
ТП	– транспортний потік
ТС	– транспортна система
ТЗ	– транспортні засоби

|| ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Линник Ірина Едуардівна – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра Міського будівництва

Лежнева Олена Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра Екології

Дорожко Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра Проектування доріг, геодезії і землеустрою

Вакуленко Катерина Євгеніївна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра Транспортних систем і логістики

Соколова Надія Володимирівна – асистент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра Транспортних систем і логістики

Афанасьєва Іветта Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра Транспортних систем і логістики

OPTIMIZATION OF MEASURES TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION DURING ROAD TRAFFIC

Lynnyk I. – Prof., Doctor of Technical Sciences, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Department of Urban Construction (Ukraine, Kharkiv).

Abstract. *The method of systematic optimization of street and road elements by ecological, ergonomic and technical and economic criteria is considered. The complex, integrative criteria of complex optimization of energy saving measures and reduction of pollution of the natural environment by motor transport in accordance with the requirements of cars, drivers and pedestrians have been developed. Local indicators of the adequacy of the car-road system have been proposed to the principles of ecosystem functioning: the principle of the least interaction, the principle of the bio-logical compatibility, the principle of the homeostasis. The proposed principles and indicators for optimizing the road-environment system ensure maximum lifetime. Model for optimization the indicators of the system "road - environment" state is developed. Model for optimization the volume of works on improvement of streets' and roads' elements are developed. Models provide reduction of fuel consumption and emissions of polluting substances. A local rule for the control of the system state coordinates can be formulated, which can be used to select appropriate measures at different stages of the functioning of the system.*

The proposed method of reducing fuel consumption and pollutant emissions, unlike existing ones, is based on systematic optimization of measures considering the technical requirements of cars, the requirements of drivers and the sanitary requirements of pedestrians. It can be used to select appropriate actions at different stages of the road-environment environment function.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ ПІД ЧАС ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Анотація. *Розглянуто метод системної оптимізації елементів вулиць і доріг за екологічними, ергономічними і техніко-економічними*

критеріями. Розроблено комплексні, інтегративні критерії комплексної оптимізації заходів з економії енергоресурсів і зниження забруднення природного середовища автомобільним транспортом відповідно до вимог автомобілів, водіїв і пішоходів. Запропоновано локальні показники адекватності системи «автомобіль – дорога» принципам функціонування екосистем: принципу найменшої взаємодії, принципу біологічної сумісності, принципу гомеостазису. Запропоновані принципи і показники для оптимізації системи «дорога – навколишнє природне середовище» забезпечують максимум часу її існування. Розроблено моделі оптимізації показників стану системи «дорога – навколишнє природне середовище» і оптимізації обсягів робіт з удосконалення елементів вулиць і доріг, що забезпечують зниження витрат палива та кількості викидів забруднюючих атмосферу речовин. Сформульовано локальне правило управління координатами стану системи, яке може бути використане для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи.

Запропонований метод зниження витрат палива й викидів забруднюючих речовин на відміну від існуючих заснований на системній оптимізації заходів з урахуванням технічних вимог автомобілів, вимог водіїв та санітарно-технічних вимог пішоходів. Він може бути використаний для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи «дорога – навколишнє природне середовище».

PROTECTION OF RESIDENTIAL TERRITORY FROM POLLUTION BY GASOUS SUBSTANCES AND NOISE

Lezhneva E. – PhD (Eng.), Assoc. Prof., Kharkiv National Automobile and Highway University, Department of Ecology (Ukraine, Kharkiv).

Abstract. Motor transport is one of the main sources of environmental pollution. Traffic intensity increasing with the motor transport complex development has led to the real danger for the environment.

The total environmental pollution from vehicles is formed due to air pollution by the internal combustion engines' gases and acoustic radiation. Reducing the harmful effects from roads on the backbone territory is the urgency of the work, through which, it will reduce the environmental burden on the residential area and will also protect the health of the

residents of the residential are. Reducing the vehicles' environmental impact will lead to an increase in urban living standards.

Investigating the road transport operation pollution on the city streets' roadside territory and to substantiate the noise shield's parameters o to protect the living area is the purpose of the work.

Highway impact on the environmental is analysing and evaluating in the paper. Modelling of pollutant emissions and noise pollution of the space near the road is presenting in the paper. Engineering design parameters for the residential area protection are substantiated in the work.

The researching results allow to evaluate the technogenic impact of noise extent and harmful substances on the environment for the Kharkiv city road example.

It makes the possibility to reasonably propose environmental measures. These measures will ensure environmental safety during operation of the motor transport complex.

ЗАХИСТ СЕЛЬБИЩНОЇ ТЕРИТОРІЇ ВІД ІНГРЕДІЄНТНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

***Анотація.** Автомобільний транспорт відноситься до основних джерел забруднення навколишнього середовища. Поряд з основною часткою обсягу шкідливих викидів в атмосферу, розвиток автотранспортного комплексу і, як наслідок, збільшення інтенсивності руху автотранспорту привели до виникнення реальної небезпеки зміни якості навколишнього середовища. Сумарне екологічне забруднення, яке здійснюється автотранспортними засобами, в загальному вигляді формується інгредієнтним забрудненням повітря, що утворюється з викидів відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання, а також параметричним забрудненням, що полягає в акустичному випромінюванні на примігистральну територію.*

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю зниження шкідливого впливу автомобільних доріг на примігистральну територію, з метою зниження екологічного навантаження на зону житлової забудови, а також з метою захисту здоров'я її мешканців та підвищення рівня життя в цілому.

Мета роботи полягає у дослідженні інгредієнтно-параметричного забруднення придорожньої території міської вулиці від роботи автомобільного транспорту та обґрунтуванні

параметрів шумозахисного бар'єру для захисту сельбищної території.

В роботі наведено аналіз та оцінку впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище; представлено моделювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожного простору; обґрунтовано параметри інженерної конструкції для захисту сельбищної території.

Результати досліджень дозволяють оцінити міру техногенного впливу інгредієнтно-параметричного забруднення при експлуатації автомагістралі на стан навколишнього середовища на прикладі міської дороги м. Харкова, що дає можливість обґрунтовано пропонувати природоохоронні заходи, які забезпечать екологічну безпеку при роботі автотранспортного комплексу.

ROADSIDE POLLUTION REDUCTION BY ENSURING THE FLATNESS AND SHEAR RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT

Dorozhko Y. – PhD (Eng.), Assoc. Prof., Kharkiv National Automobile and Highway University, Department of Road Design, Geodesy and Land-utilization (Ukraine, Kharkiv).

Abstract. *The influence of road surface flatness on roadside pollution was analyzed. It was found that the quality of the road surface affects the level of acoustic pollution and the volume of exhaust gas emissions. Together with the increase of the road surface roughness, the volume of emissions from car exhaust gases increases significantly. There are about 200 chemical compounds that are dangerous to humans and are emitted into the air, soil and water, and depress green spaces.*

The paper considers the flatness and shear resistance of the road pavement made of asphalt concrete layers on a rigid basis for the conditions of the Kharkiv region. To solve this problem the following measures have been taken:

– *the analysis was made regarding design solutions for the installation of asphalt concrete layers on a rigid base, the most common deformations and destructions inherent in asphalt concrete layers on cement concrete slabs for the conditions of the Kharkiv region, as well as factors causing them;*

- the procedure for evaluating the shear resistance of asphalt concrete layers was proposed;
- the order of determining temperature stresses in asphalt concrete pavement on a rigid basis was provided considering the value of unrealized temperature deformation with the use of the integral equation of Boltzmann-Voltaire hereditary-type linear viscous elasticity;
- simulation was made regarding the stress-strain state of the road surface structure using the finite-element method and with the help of the ANSYS software package for the conditions of the calculated load of group A₂;
- the procedure was proposed to determine stresses in the asphalt concrete layer on a rigid basis caused by the combined exposure of transport load and temperature deformation, which allows taking into account the time of action of loads and deformations and relaxation processes of temperature stresses;
- the method was provided to determine the daily temperature difference in the thickness of the road surface structure, based on the solutions of L. I. Horetskyi;
- shear resistance of asphalt concrete pavement on a rigid basis was assessed for the conditions of the Kharkiv region, which allowed to determine the minimum required thickness of asphalt concrete layer to be provided to ensure necessary shear resistance of the pavement.

ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ ЗА РАХУНОК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОСТІ ТА ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

***Анотація.** Проаналізовано вплив рівності покриття дорожнього одягу на забруднення придорожнього простору. Встановлено, що якість дорожнього покриття впливає на рівень акустичного забруднення та обсяги викидів вихлопних газів. Із зростанням нерівностей дорожніх покриттів значно збільшуються обсяги викидів вихлопних газів автомобілів, що міститься близько 200 хімічних сполук, які є небезпечними для людини та потрапляють в повітря, ґрунт і воду, пригнічують зелені насадження.*

В роботі розглянуто забезпечення рівності та зсувостійкості покриття дорожнього одягу з асфальтобетонних шарів на жорсткій основі для умов Харківської області. Для вирішення даної задачі:

- проведено аналіз конструктивних рішень влаштування асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, найпоширеніших деформацій і руйнувань притаманних асфальтобетонним шарам на цементобетонних плитах для умов Харківської області та факторів, що їх викликають;
- запропоновано порядок оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття;
- наведено порядок визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі за величиною нереалізованої температурної деформації з використанням інтегрального рівняння лінійної в'язко-пружності спадкового типу Больцмана-Вольтера;
- проведено моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу ANSYS для умов розрахункового навантаження групи A_2 ;
- запропоновано порядок визначення напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження та температурного деформування, що дозволяє врахувати час дії навантажень і деформації та процеси релаксації температурних напружень;
- наведено методику визначення добового перепаду температур по товщині конструкції дорожнього одягу, на основі рішень Горецького Л.І.;
- проведено оцінку зсувостійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі для умов Харківської області, в результаті якої визначено мінімально необхідні товщини асфальтобетонного шару покриття, які необхідно передбачити для забезпечення зсувостійкості покриття.

LOGISTIC PRINCIPLES OF MANAGEMENT BY THE PUBLIC PASSENGER TRANSPORT SYSTEM WITH ENVIRONMENTAL CONSOLIDATION

Vakulenko K. – PhD, Assoc. Prof., O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Department of Transport systems and Logistics (Ukraine, Kharkiv).

Sokolova N. – assistant, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Department of Transport systems and Logistics (Ukraine, Kharkiv).

Abstract. *The analysis of the basic logistical principles that can be applied in the development and management of the route system of urban passenger transport are reviewed. The logistical principle of system stability and adaptability and the logistic principle of quality management in passenger transportations is considered.*

The expediency of the organization of the combined mode of traffic on city bus routes with taken into account the introduction allocating a priority lane in order to increase transport demand, due to involving interests of transport companies and the requests of passengers in terms of quality, reliability and safety are considered.

As the level of motorization increases, a significant number of road accidents (accidents) are recorded by the Road Traffic Safety Administration in Ukraine, with not only an increase in their number but also their severity. Most road traffic accidents occur with the participation of city buses.

In order to reduce the risk of vehicle collision and improve traffic safety, it is proposed to organize the movement of urban transport vehicles on a dedicated lane. To assess the possibility of implementing high-speed traffic or BRT-like systems by allocating a lane for urban transport routes, Kharkiv city route system was considered with various factors in mind. From the considered urban routes for further consideration regarding the implementation of the dedicated (specialized) lane for routes of the urban transport, the route network of the Slobidsky district of Kharkiv city was selected.

ЛОГІСТИЧНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ

Анотація. *Розглянуто аналіз основних логістичних принципів, які можна застосувати при розробці та управлінні маршрутною системою міського пасажирського транспорту. Розглянуто логістичний принцип стабільності та адаптованості системи та логістичний принцип управління якістю пасажирських перевезень.*

Доцільність організації комбінованого режиму руху на міських автобусних маршрутах з урахуванням введення, що виділяє пріоритетну смугу для підвищення транспортного попиту, за рахунок залучення інтересів транспортних компаній та запитів пасажирів щодо якості, надійності та безпеки враховується.

Зі збільшенням рівня моторизації в Україні фіксується значна кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), причому не лише зростає їх кількість, але і їх тяжкість. Більшість ДТП трапляються за участю міських автобусів.

З метою зменшення ризику зіткнення транспортних засобів та підвищення безпеки руху пропонується організувати рух транспортних засобів міського транспорту по виділеній смузі. Для оцінки можливості впровадження високошвидкісного руху або BRT-подібних систем шляхом виділення смуги руху маршрутів міського транспорту, Харківська міська система маршрутів була розглянута з урахуванням різних факторів. З розглянутих міських маршрутів для подальшого розгляду щодо реалізації виділеної (спеціалізованої) смуги руху маршрутів міського транспорту було обрано маршрутну мережу Слобідського району міста Харкова.

IMPROVEMENT THE TRAFFIC SAFETY THROUGH THE INFLUENCE OF INFORMATION FLOWS ON THE RESULTS OF DRIVER ACTIVITY

Afanasyeva I. – PhD, Assoc. Prof., O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Department of Transport systems and Logistics (Ukraine, Kharkiv).

Abstract. *The amount of information impact on the driver is constantly increasing due to the rapid development of modern electronic telecommunications, the increase in the number of off-road advertising, the active use of mobile information devices. In existing studies, insufficient attention has been paid to influencing drivers' performance and their psycho-emotional state of information flows that reduce their response and increase the probability of the road accidents. It is no coincidence that the vast majority of accidents occur through the fault of the driver, not the car or the road. The root cause of road accidents is a personal factor - the human psyche. Therefore, it is relevant to study the impact of information load on the driver. The purpose of the study is to*

investigate the impact of information flows on the performance of road users. To achieve this goal, the following tasks were solved: analysis of scientific approaches and methods of determining the impact of information flows on the performance of road users; study of the impact of road users' performance on traffic safety. The analysis identified the main groups of sources of information, found that the existing studies did not pay enough attention to the impact on the performance of the driver of information from "additional sources", namely: mobile phones, billboards, etc.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ЧЕРЕЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ НА РЕЗУЛЬТАТИ ДІЯЛЬНОСТІ ВОДІЯ

Анотація. Обсяг інформаційного впливу на водія постійно збільшується через стрімкий розвиток сучасних електронних телекомунікацій, збільшення кількості позаадресної реклами, активне використання мобільних інформаційних пристроїв. У існуючих дослідженнях недостатня увага приділялася впливу на працездатність водіїв та їх психоемоційний стан інформаційних потоків, що зменшує їх реакцію та збільшує імовірність виникнення ДТП. Не випадково переважна більшість ДТП трапляється з вини водія, а не автомобіля чи дороги. В основі причин дорожньо-транспортних пригод лежить особистий фактор – психіка людини. Тому доречно вивчити вплив інформаційного навантаження на водія. Мета дослідження – дослідити вплив інформаційних потоків на результати діяльності учасників дорожнього руху. Для досягнення цієї мети було вирішено такі завдання: аналіз наукових підходів та методів визначення впливу інформаційних потоків на результативність учасників дорожнього руху; вивчення впливу результатів діяльності учасників дорожнього руху на безпеку руху. Проведений аналіз дозволив визначити групи джерел інформації, та встановити, що існуючі дослідження не приділяли належної уваги впливу на результати діяльності водія інформації від «додаткових джерел», а саме: мобільних телефонів, рекламних щитів тощо.

Колективні і авторські монографії НК "СТіЕМ"

НК "СТіЕМ" надає можливість опублікувати результати досліджень в колективних монографіях, які є колективною науковою працею, а також в авторських монографіях.

Книги видаються в твердій палітурці з присвоєнням УДК, ББК та ISBN, а також робиться розсилка екземплярів у ключові бібліотеки України для можливості ознайомитися з ними широкому колу вчених.

Матеріали, що опубліковані в монографіях, відображаються в реферативних базах даних: Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського НАН України, eLIBRARY, CYBERLENINKA, Index Copernicus, що дозволяє відстежити цитованість монографії в наукових виданнях.

Будемо раді бачити Ваші роботи за наступними напрямками:

- Екологія міських систем;
- Екологічні характеристики транспортних систем;
- Екологічна безпека транспортних потоків;
- Транспортні системи;
- Міська логістика (City Logistics);
- Організація дорожнього руху;
- Організація пасажирських перевезень;
- Організація вантажних перевезень;
- Транспортні технології.

Контакти:

050-60-70-395

www.stiem.info

Наукове видання

І.Е. Линник, О.І. Лежнева, Є.В. Дорожко, К.Є. Вакуленко,
Н.А. Соколова, І.А. Афанасьєва

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Монографія

Підписано до друку 20.05.2020 р.
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,53
Наклад 300 прим. Зам. № 201772

Видавництво «Стильна типографія»
61002, м. Харків, вул. Чернишевська, 28А
Тел.: (057) 754-49-42
e-mail: zebraprint.zakaz@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
серія ДК №5493 від 22.08.2017 р.