

Міністерство освіти України
УКРАЇНСЬКИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УДК 625.72:331.015.11

На правах рукопису

ЛИННИК ІРИНА ЕДУАРДІВНА

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИДАТКІВ
ПАЛИВА ТА ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН
АВТОМОБІЛЯМИ ПРИ РУХОВІ ПО МІСЬКИМ
АВТОМОБІЛЬНИМ МАГІСТРАЛЯМ

Спеціальність 05.22.11 -
Автомобільні шляхи та аеродроми

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1997



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківській державній академії міського господарства

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Нікітін О.Ф.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук Павлюк Д.О.;
кандидат технічних наук Шилова Т.О.

Провідна організація - Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, м. Харків.

Захист відбудеться "21" травня 1997 року о 10.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.27.03 при Українському транспортному університеті за адресою: 252010, м. Київ - 10, вул. Суворова, 1, ауд. 333-а.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського транспортного університету.

Автореферат розісланий "21" квітня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд.техн.наук, доцент

Пальчик А.М.

Відповідальний випусковий Семенов В.Т.

Підписано до друку 3.04.1997.
Формат паперу 60x84 1/16. Друк офсетний.
Обсяг 1.0 обл.-вид. арк. Зам. № 137.
Тираж 100 прим. Безкоштовно.

ХДАМГ, 310002, Харків, вул. Революції, 12.
Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХДАМГ.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення раціонального вжитку паливно-енергетичних ресурсів є однією з важливих задач проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг. За останні роки досягнуті певні успіхи в розробці методів зниження витрат палива і кількості викидів, забруднюючих атмосферу під час вирішення задач проектування та експлуатації автомобільних доріг. Однак, сучасні методи планування заходів по зниженню енерговитрат і кількості забруднюючих атмосферу викидів при рухові транспортних потоків не передбачають системної оптимізації об'ємів робіт. Складність оптимального планування пов'язана з нерозробленістю методів оцінки фактичних швидкостей руху і витрат палива в дорожніх умовах міста.

Вважаючи актуальність вирішення проблеми економії палива в сучасних соціально-економічних умовах будівництва незалежної України, були проведені дослідження в цьому напрямку.

Метою дослідження є розробка методики оптимізації заходів по зниженню витрат палива і кількості забруднюючих атмосферу речовин при рухові транспорту по міським автомобільним магістралям.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що на відміну від раніш запропонованих методів вирішення проблеми оптимізації заходів у напрямку економії енергоресурсів, у роботі приділена увага системній оптимізації об'ємів робіт.

Практична цінність результатів дисертації, що одержані складається:

- в розробці методики, алгоритму і тексту програм для ЕОМ по оцінці фактичних швидкостей руху, витрат палива та забруднюючих атмосферу речовин у міських дорожніх умовах;

- в розробці методики оптимізації заходів по зниженню забруднення атмосфери автомобільним транспортом при рухові по міським автомобільним магістралям.

Апробація роботи. Окремі розділи дисертації доповідались та одержали підтримку на науково-технічних семінарах і конференціях: "Екологическое значение автомобильных дорог", Москва, 1989 г.; "Вопросы планировки и застройки городов", Пенза, 1989 г.; "Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов", Екатеринбург, 1990, 1992 гг.;

"Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання", Київ, 1994 р.; "Современные транспортные проблемы", Харьков, 1996 г.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковано в 4 роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури з 64 назв, 122 малюнків, 52 таблиць, 118 сторінок машинописного тексту. Загальний обсяг становить 286 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується вибір і актуальність теми, визначається мета, методологічні засоби дослідження, наукова новизна і практична цінність результатів.

В першій главі розглядаються напрямки і методи оптимізації заходів по зниженню енерговитрат на транспортування людей і вантажів, а також охорони природи під час вирішення задач проектування автомобільних доріг. Значний внесок у вирішення цієї проблеми зробили Ю.Ф. Гутаревич, А.А. Миронов, І.Є. Євгенєв, В.С. Торев, О.А. Білятинський, В.І. Білозеров, В.М. Сегеркранц, Я.В. Хом'як, Є.А. Бакулич, В.В. Філіпов, Т.О. Шилова, В.Ф. Скорченко та інші.

Аналіз літературних джерел показує, що методи обґрунтування природоохоронних заходів мають несистемний характер і базуються на техніко-економічному підході. Усвідомлення себе, як частки природи довело до формування переконання в тому, що людина не може ставити себе відносно до природи в становище "загарбника" та змінювати природу тільки на основі критерія користі для себе. Не відокремлення від природи, а гармонійне поєднання з нею стає прогресивною метою подальшого розвитку людського суспільства. Тобто назріла необхідність розробки комплексних критеріїв і методів оптимізації на їх основі, відносно до яких фінансові витрати будуть виступати тільки в якості обмежень можливостей людського суспільства.

У другій главі на основі аналізу критеріїв оцінки якості автомобільних доріг показано області їх можливого застосування і протирічний характер. Стверджується, що кращим виходом з протирічності локальних критеріїв є перехід до більш вищої мети, тобто вимогам, які задаються системами більш вищого гатунку. Таким вимогам, згідно Е.С. Геллеру і І.Б. Новику є

"біосферосумісність" автомобільних доріг і навколишнього природного середовища.

В якості показників "біосферосумісності" пропонується використати або вірогідність загибелі системи "дорога - навколишнє природне середовище", або час існування цієї системи.

Математична модель оптимальної поведінки системи "автомобільна дорога - навколишнє природне середовище" формулюється таким чином.

Хай ϵ система, стан якої визначається n -мірним вектором $\bar{F}(f_1, f_2, \dots, f_n)$. Координати f_1, f_2, \dots, f_n збільшуються з постійними швидкостями $u(u_1, u_2, \dots, u_n)$ $u_i \geq 0$.

Природа в цілому описується безліччю ситуацій, в яких може знаходитись система "дорога - навколишнє природне середовище" $\epsilon(c_1, c_2, \dots, c_n)$. В i -тій ситуації на i -ту координату системи f_i чиниться вплив, зменшуючий її зі швидкістю v_i , тобто в ситуації ϵ система рухається зі швидкістю $\bar{V}_i(u_1, u_2, \dots, u_n - v_1, v_2, \dots, v_n)$.

Будемо вважати, що система існує, якщо вектор \bar{F} не виходить за межі області припустимих значень, яка задана рівнянням еліпсоїда

$$\sum_1^n f_i^2 k_i - 1 = 0.$$

Необхідно знайти для системи оптимальну тактику поведінки (правило зміни ситуацій), максимізуючу час існування системи T , тобто

$$T \xrightarrow{f_i} \max,$$

$$\sum_1^n f_i^2 k_i - 1 = 0,$$

$$f_i \geq 0,$$

$$\bar{F} \in \chi.$$

Рішення даної задачі одержано методом неозначених коефіцієнтів Лагранжа. Аналіз геометричного представлення рішення дозволив встановити локальне правило управління координатами стану f_i , яке максимізує час існування системи. Це правило складається в наступному: в кожному момент часу систе-

ма повинна рухатись в тому напрямку v_i для якого здійснюється умова

$$\max_k f_i v_i$$

Для забезпечення гармонійної єдності (синергетичних відношень) між дорогою і навколишнім природним середовищем пропонується використати в якості об'єктивних законів побудовання технічної системи принципи функціонування біологічних систем: принцип найменшої взаємодії; принцип біологічної сумісності; принцип функціонального гомеостазису.

Використання даних принципів для будовання технічної системи дозволить внести її в кругооберт речовин і каскадний процес передачі енергії, речовин і інформації в природі без його припинення.

Адекватність дороги принципу найменшої взаємодії пропонується оцінювати показником:

$$f_1 = \frac{\Phi_i}{\Phi_n}$$

- принципу біологічної сумісності показником:

$$f_2 = \frac{\Phi_n}{\Phi_{\Sigma n}}$$

- принципу функціонального гомеостазису показниками:

$$\alpha_{31} = \frac{\Phi_n}{\Phi_n}, \quad \alpha_{32} = \frac{\Phi_{\Sigma n}}{\Phi_{\Sigma n}}$$

де Φ_i - показник взаємодії системи з природою;

$\Phi_n, \Phi_{\Sigma n}$ - норми показника взаємодії для однієї системи та їх групи;

$\Phi_n, \Phi_{\Sigma n}$ - порогові показники взаємодії для окремої системи та їх групи.

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

Тому комплексний показник адекватності функціонування дороги принципам функціонування біосистем сформульовано у вигляді:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^2 \varphi_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i} + b,$$

де $b = 0$ при $\varphi_i < \varphi_n$,

$$b = \sum_{i=1}^n \left[1 + \left(f_i - \frac{1}{\alpha_i} \right) \right] \quad \text{при } \varphi_i > \varphi_n,$$

n - кількість показників, для яких $\varphi_i > \varphi_n$.

Впровадження природоохоронних заходів приводить до змінення вектора стану системи "дорога - навколишнє природне середовище" на величину

$$\Delta F = F - F_0,$$

де F_0, F - вектор стану "до" і "після" впровадження заходів.

Величина ΔF є ефектом впровадження заходів.

Для оцінки ефективності заходів пропонується використати коефіцієнт ефективності

$$\Theta = \frac{\Delta F}{S},$$

де S - витрати на одержання ефекту ΔF .

Оптимальна ефективність заходів оцінюється коефіцієнтом

$$\Theta_{\text{opt}} = \frac{1 - F_0}{S_{\text{m}}},$$

де S_{m} - витрати на одержання ефекту ΔF_{opt} .

Відношення фактичної ефективності до оптимальної характеризує потенційну ефективність заходів

$$E = \frac{\Delta}{\Delta_{opt}} = \frac{\bar{F} - \bar{F}_0}{1 - \bar{F}_0} * \frac{S_m}{S}$$

де E - коефіцієнт потенційної ефективності.

Коефіцієнт E змінюється в межах

$$0 \leq E \leq 1$$

і може використовуватись як для оцінки окремих заходів, так і їх сукупності.

Показник потенційної ефективності природоохоронних заходів пропонується використати для встановлення необхідного ступеня впливу на систему "дорога - навколишнє природне середовище" при наявності фінансових обмежень. Ступінь впливу може бути встановлена шляхом вирішення оптимізаційної задачі у вигляді:

$$E \xrightarrow{\Delta F} \max,$$

$$S = S_a,$$

де S, S_a - фактичні і припустимі витрати на перетворювання вектора стану ΔF .

Рішення цієї задачі методом неозначених коефіцієнтів Лагранжа дає оптимальне значення вектора стану у вигляді

$$F_{opt} = F_0 + \left(\frac{S_a}{a} \right)^{\frac{1}{\beta}},$$

де a і β - коефіцієнти ефективності заходів.

Задача системної оптимізації координат стану компонентів системи по суті є задачею конструювання. Тому для її рішення можливо використати техніко-економічні критерії.

Формально ця задача предстає у вигляді:

$$\sum_{i=1}^m \frac{c_i}{\bar{c}_i} * \frac{x_i}{\bar{x}_i} \rightarrow \min, \quad \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{\bar{x}_i} = R_1,$$

де $\tilde{x}_i = 1 - f_i^0$;
 f_i^0 - координата стану до введення природоохоронних заходів;

$$\tilde{c}_i - \text{питомі витрати на одержання ефекту } \tilde{x}_i \left(\tilde{c}_i = \frac{S_i}{\tilde{x}_i} \right);$$

R_s - заданий сумарний відносний ефект,

$$R_s = m \frac{F_{\text{opt}} - F_0}{1 - F_0};$$

m - кількість оптимізуємих координат стану.

Рішення цієї задачі предстає у вигляді

$$f_{i\text{opt}} = f_i^0 + \tilde{x}_i \frac{F_{\text{opt}} - F_0}{1 - F_0}.$$

Задаючись показником взаємодії системи з природою можна (згідно з принципом найменшої взаємодії) визначити оптимальну норму цього показника

$$\varphi_{\text{пiopt}} = \frac{\varphi_i}{f_{i\text{opt}}}$$

і підібрати елементи дороги, при яких реалізується $\varphi_{\text{пiopt}}$.

Для кількісної оцінки показників взаємодії φ пропонується використати викиди забруднюючих атмосферу речовин за формулою А.Я. Говорущенка. Для оцінки швидкостей руху пропонується використати алгоритм Е.В.Гаврилова, адаптований до міських умов автором дисертаційного дослідження.

В третій главі наведені результати машинного і натурального експериментів по оцінці параметрів моделей оптимізації.

Для адаптації до міських умов алгоритму розрахунку швидкостей руху необхідно встановити сигнальне значення об'єктів середовища руху.

Сигнальне значення об'єктів оцінювалось згідно з результатами дослідних проїздів ходової лабораторії на дорогах і вулицях м. Харкова. Дослідні заїзди виконувались з нерегламентованим режимом. В процесі заїздів виконувалась безперервна реєстрація

електрофізіологічних показників функціонального стану водія (ЕКГ, ЕПГ, КГР). При обробці дослідних даних визначалися показники граничного стану системи кровообігу за формулою

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{m} - \sigma_R,$$

де R_i - ширина i -того RR-інтервалу ЕКГ, мм;

σ_R - середньоквадратичне відхилення RR-інтервалів;

m - кількість членів вибірки RR-інтервалів ЕКГ.

Об'єм вибірки включав не менш 400 RR-інтервалів.

Сигнальне значення об'єкту середовища оцінювалось за ймовірністю того, що фактичне значення RR-інтервала при зустрічі з даним об'єктом з'явиться менш граничного R_n :

$$P = n/N,$$

де n - кількість випадків, коли $R_\phi < R_n$;

N - сумарна кількість зустрічей з об'єктом середовища.

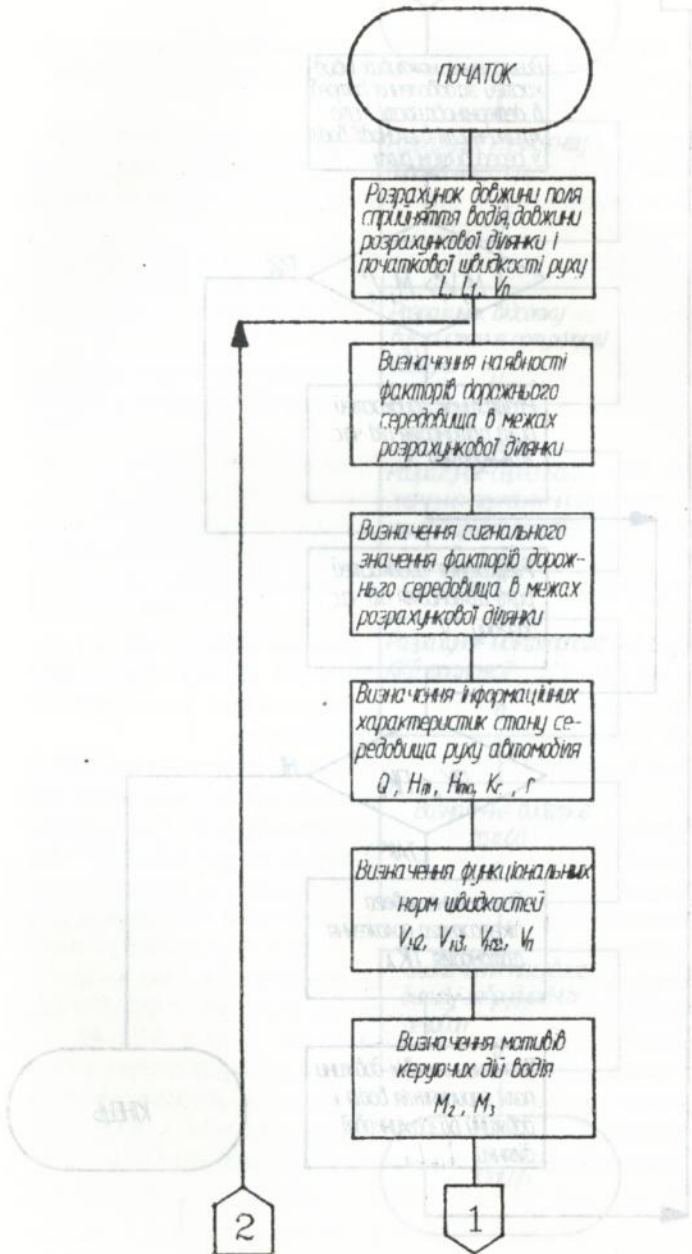
Результати досліджень дозволили встановити сигнальне значення 29 об'єктів середовища руху.

Для оцінки параметрів дороги і режиму різних типів автомобілей на викид в атмосферу забруднюючих речовин і видатків палива використовувався машинний експеримент. Проведення такого експерименту визвало необхідність розробки алгоритмів і текстів програм для ПЕОМ типу РС/АТ для розрахунку швидкостей руху, видатків палива та викидів забруднюючих речовин у атмосферу, рис. 1, 2.

Тексти програм розроблені на алгоритмічній мові СИ⁺⁺.

Відправними даними для експерименту були фактичні параметри вулиці Академіка Павлова м. Харкова і фактичні інтенсивність руху (1272 авт/год) і склад руху (78% легкових автомобілів, 3,6% мікроавтобусів, 4,95% легкових вантажних, 1,89% середніх вантажних, 5,6% важких вантажних, 6,84% автобусів).

Результати машинного експерименту довели, що на видатки палива і викид забруднюючих речовин впливають дві групи факторів: фізичні та інформаційні. До складу фізичних факторів можуть бути віднесені: тип і стан автомобіля, фізичні сили опору руху (опір руху на під'їом, опір руху качінню колеса автомобіля, опір повітряного середовища). До структури інформаційних фак-



ПОЧАТОК

Розрахунок довжини поля сприйняття водія, довжини розрахункової ділянки і початкової швидкості руху L, L_r, V_0

Визначення наявності факторів порожнього середовища в межах розрахункової ділянки

Визначення сигнального значення факторів дорожнього середовища в межах розрахункової ділянки

Визначення інформаційних характеристик стану середовища руху автомобіля Q, H_n, H_{n0}, K_c, r

Визначення функціональних норм швидкостей $V_{12}, V_{13}, V_{22}, V_1$

Визначення мотивів керуючих дій водія M_2, M_3

2

1

КЕР

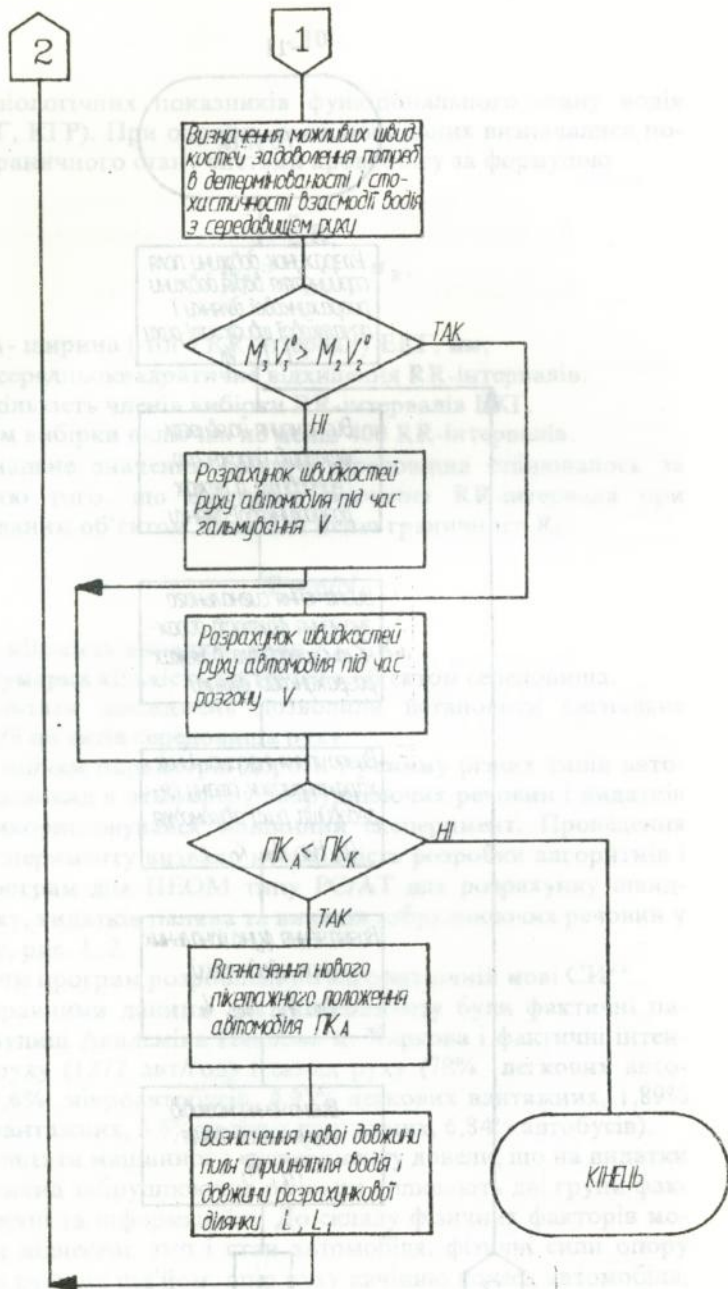


Рисунок 1 – Схема алгоритму розрахунку швидкостей руху

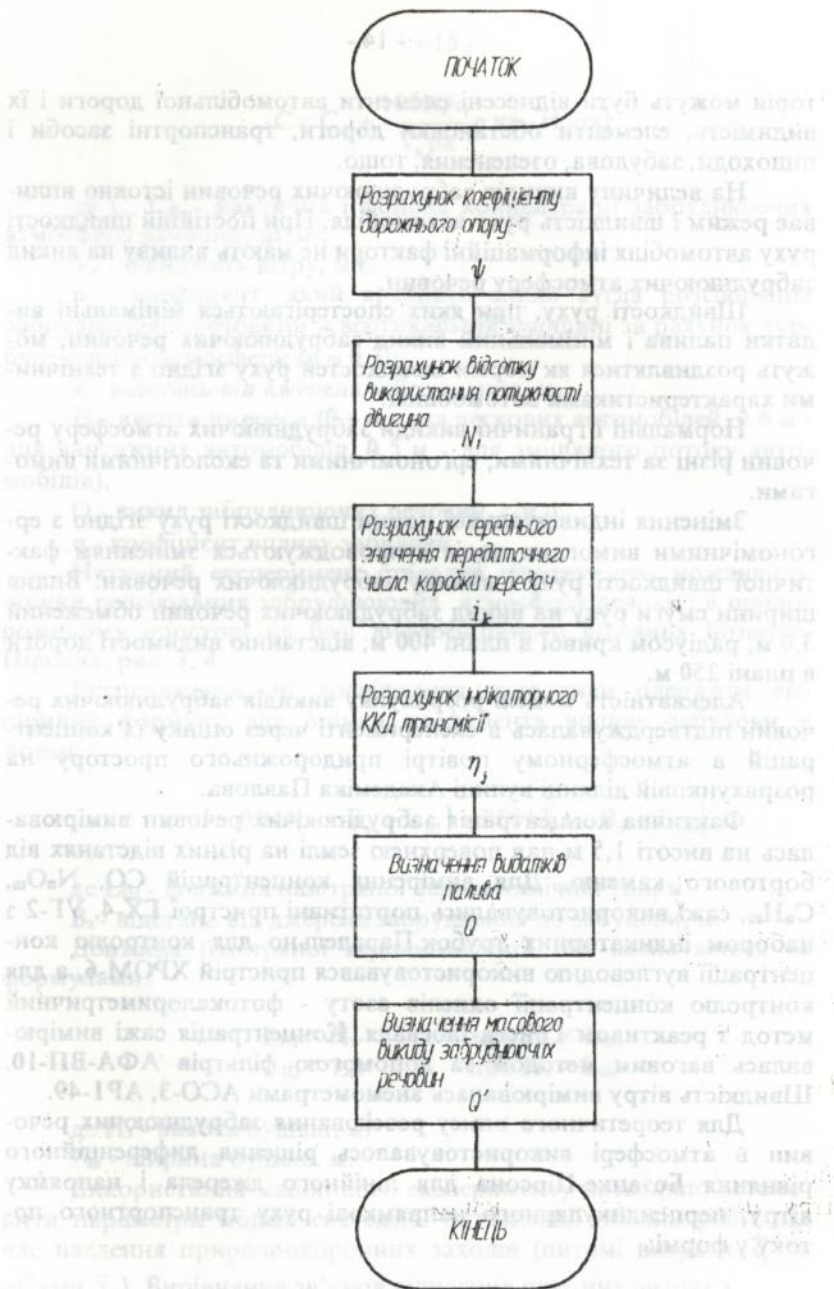


Рисунок 2 - Схема алгоритму розрахунку викидів забруднюючих речовин

торів можуть бути віднесені елементи автомобільної дороги і їх видимість, елементи обстановки дороги, транспортні засоби і пішоходи, забудова, озеленення, тощо.

На величину викидів забруднюючих речовин істотно впливає режим і швидкість руху автомобіля. При постійній швидкості руху автомобіля інформаційні фактори не мають впливу на викид забруднюючих атмосферу речовин.

Швидкості руху, при яких спостерігаються мінімальні видатки палива і мінімальний викид забруднюючих речовин, можуть роздивлятися як норми швидкостей руху згідно з технічними характеристиками автомобілей.

Нормальні і граничні викиди забруднюючих атмосферу речовин різні за технічними, ергономічними та екологічними вимогами.

Змінення індивідуальної норми швидкості руху згідно з ергономічними вимогами водія супроводжуються змінням фактичної швидкості руху і викиду забруднюючих речовин. Вплив ширини смуги руху на викид забруднюючих речовин обмежений 3,0 м; радіусом кривої в плані 400 м; відстанню видимості дороги в плані 250 м.

Адекватність моделі розрахунку викидів забруднюючих речовин підтверджувалась в експерименті через оцінку їх концентрацій в атмосферному повітрі придорожнього простору на розрахунковій ділянці вулиці Академіка Павлова.

Фактична концентрація забруднюючих речовин вимірювалась на висоті 1,5 м над поверхнею землі на різних відстанях від бортового каменю. Для вимірення концентрацій CO , NO_x , SO_2 , сажі використовувались портативні пристрої ГХ-4, УГ-2 з набором індикаторних трубок. Паралельно для контролю концентрації вуглеводню використовувався пристрій ХРОМ-6, а для контролю концентрації окислів азоту - фотокалориметричний метод з реактивом Гресса-Ілосваля. Концентрація сажі вимірювалась ваговим методом за допомогою фільтрів АФА-ВП-10. Швидкість вітру вимірювалась анемометрами АСО-3, АРІ-49.

Для теоретичного опису розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері використовувалось рішення диференційного рівняння Бозанке-Пірсона для лінійного джерела і напрямку вітру, перпендикулярного напрямкові руху транспортного потоку у формі:

$$C = C_{\phi} + \frac{1000Q\eta}{V_s p x} e^{-N/p x},$$

де C , C_{ϕ} - фактична і фонові концентрації забруднюючих атмосферних речовин, мг/м^3 ;

V_s - швидкість вітру, м/с ;

p - коефіцієнт, який враховує вплив вугла розсіювання забруднюючої речовини в вертикальній площині за рахунок турбулентності атмосфери ($p \approx 0.3$);

x - відстань від джерела забруднення, м ;

N - висота джерела (0.4 м - для легкових автомобілів, 0.6 м - для вантажних автомобілів, 0.5 м - для змішаного потоку автомобілів),

Q - викид забруднюючих речовин, г/м с ;

η - коефіцієнт впливу забудови.

Натурний експеримент ствердив гіпотезу про можливість оцінки розсіювання забруднюючих атмосферних речовин в природному просторі на базі диференційного рівняння Бозанке-Пірсона, рис. 3, 4.

Експериментальні дослідження дозволили одержати емпіричну формулу для оцінки коефіцієнта впливу забудови у формі:

$$\eta = 1 + 0.044(x - V_s + L_{III}) + 0.0013[x - V_s + L_{III}]^2,$$

де L_{III} - довжина навітряної аеродинамічної тіні, м ;

V_s - відстань від джерела забруднення до забудови, м .

Довжина навітряної аеродинамічної тіні визначається за формулами:

$$\begin{aligned} L_{III} &= N, & \text{при } N_3 < L_m, \\ L_{III} &= L_m, & \text{при } N_3 > L_m. \end{aligned}$$

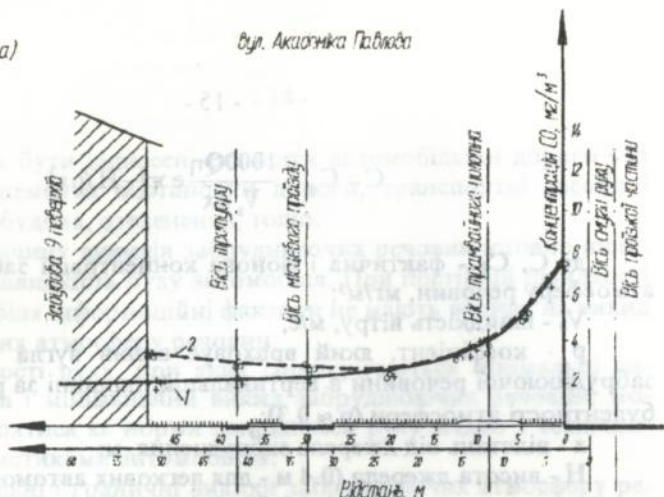
де N_3 - висота будівлі, м ;

L_m - ширина будівлі, м .

Використання машинного експерименту дозволило встановити параметри моделі системної оптимізації об'ємів робіт під час введення природоохоронних заходів (питомі витрати \tilde{c} та об'єми \tilde{x}_i). Вирівнювання зв'язків відносних питомих витрат з

a)

вул. Академіка Павлова



б)

вул. Академіка Павлова

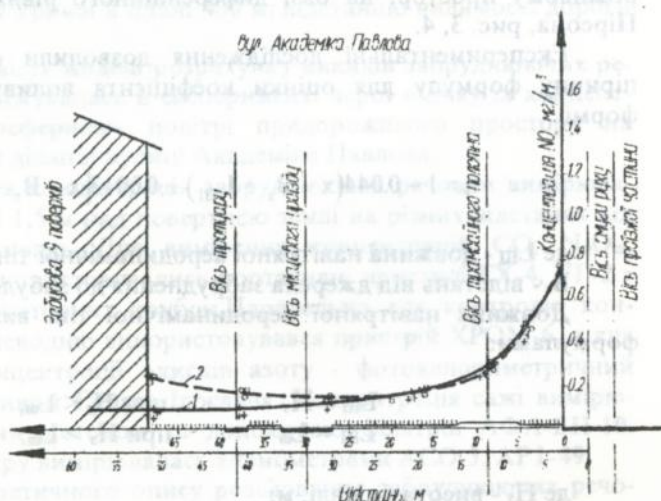
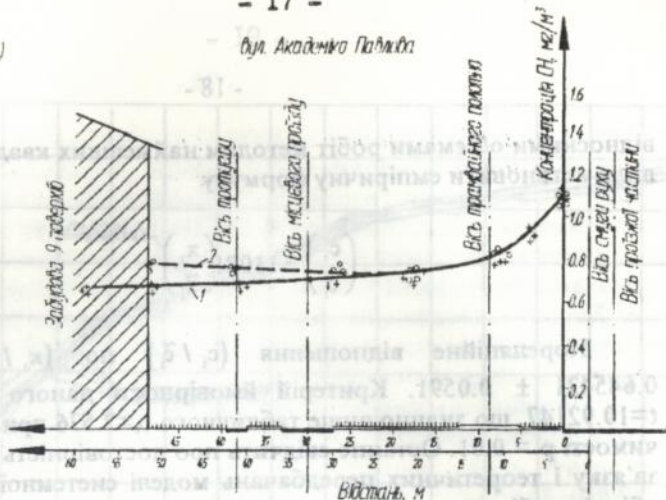


Рисунок 3 — Розсіювання забруднюючих речовин в повітрі булиці :
 а) CO; б) NO;
 1 — забудови немає, 2 — забудова є,
 $V_b = 1.1$ м/с; $C_p = 0.021$ мг/м³; $V_a = 30$ км/год;
 $N = 1278$ авт/год; 78% легкових.

а)

вул. Академіка Павлова



б)

вул. Академіка Павлова

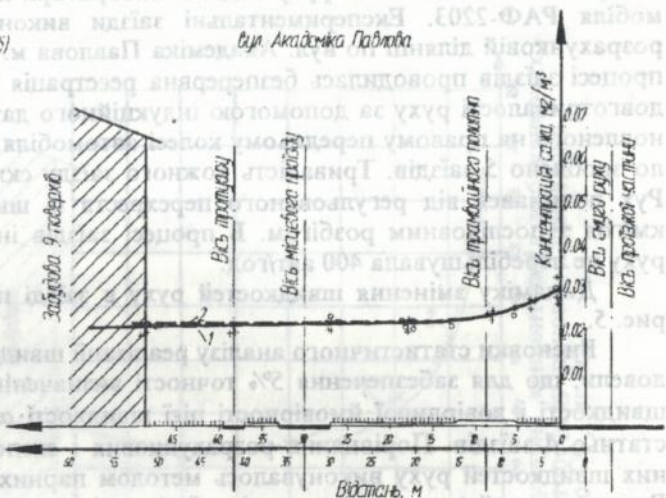


Рисунок 4 - Розсіювання забруднюючих речовин в повітрі вулиці :

а) СН; б) Сажа;

1 - забудови немає; 2 - забудова є;

$V_0 = 1.1$ м/с; $C_p = 0.021$ мг/м³; $V_a = 30$ км/год;

$N = 1278$ авт/год; 78% легкових.

відносними об'ємами робіт методом найменших квадратів дозволило встановити емпіричну формулу

$$\left(\frac{c_i}{\tilde{c}_i}\right) = 1.1081 \left(\frac{x_i}{\tilde{x}_i}\right)^{-0.8476912}$$

Кореляційне відношення (c_i / \tilde{c}_i) по (x_i / \tilde{x}_i) дорівнює 0.645421 ± 0.0591 . Критерій ймовірності даного відношення $t=10.92147$, що значно вище табличного $t_r=2.576$ при ступені значимості $p = 0.01$. Останнє свідчить про достовірність одержаного зв'язку і теоретичних передбачань моделі системної оптимізації об'ємів робіт.

В четвертій главі оцінюється адекватність моделі розрахунку швидкостей руху і адекватність моделі оптимізації елементів доріг і вулиць.

Адекватність моделі розрахунку швидкостей руху оцінювалась шляхом порівняння розрахункових даних з результатами вимірювання швидкостей руху ходової лабораторії на базі автомобіля РАФ-2203. Експериментальні заїзди виконувались на розрахунковій ділянці по вул. Академіка Павлова м. Харкова. В процесі заїздів проводилась безперервна реєстрація швидкості і довготривалості руху за допомогою індукційного датчика, встановленого на правому передньому колесі автомобіля. Усього було зроблено 5 заїздів. Тривалість кожного заїзду складала 30 с. Рух починався від регульованого перехрестя із швидкістю 10 км/год з послідовним розбігом. В процесі заїздів інтенсивність руху не перебільшувала 400 авт/год.

Динаміку змінення швидкостей руху в заїзді показано на рис. 5.

Висновки статистичного аналізу реалізації швидкостей руху довели, що для забезпечення 5% точності визначення середньої швидкості і довірливої ймовірності цієї швидкості $\alpha = 0.95$ достатньо 4 заїздів. Порівняння розрахункових і експериментальних швидкостей руху виконувалось методом парних порівнянь. Розрахунковий t-критерій достовірної різниці між теоретичними та експериментальними даними з'явився менше табличного $t_p=2.014 < t_r=2.045$ при рівні значимості $p = 0.05$ та кількості ступенів вільності 29. Це свідчить про те, що модель розрахунку швидкостей руху адекватна експериментальним даним.

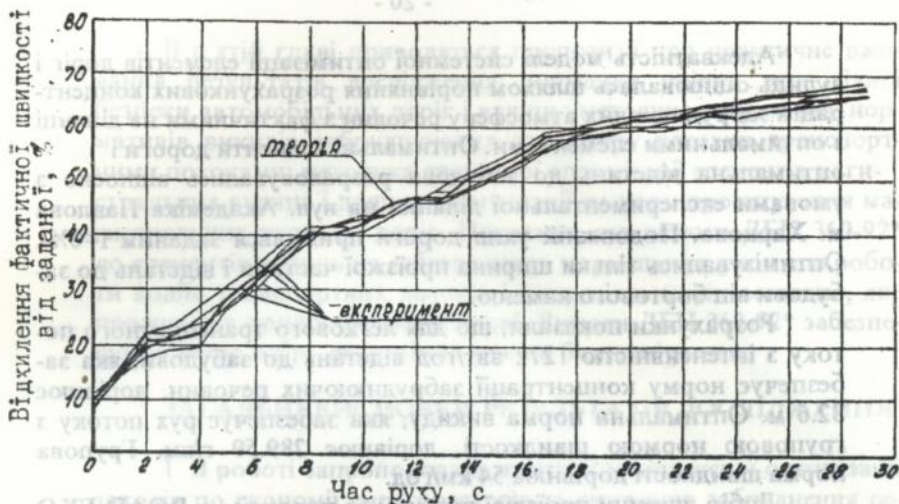


Рисунок 5 - Динамика змінення швидкості руху на дослідній ділянці

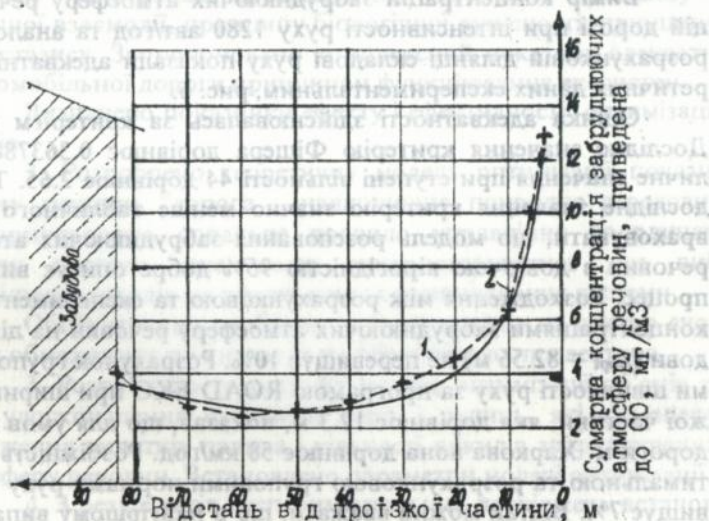


Рисунок 6 - Розсіювання забруднюючих атмосферу речовин на круглій дорозі м. Харкова: 1 - дослідне; 2 - розрахункове

Адекватність моделі системної оптимізації елементів доріг і вулиць оцінювалась шляхом порівняння розрахункових концентрацій забруднюючих атмосферу речовин з фактичними на ділянці з оптимальними елементами. Оптимальні елементи дороги і оптимальна відстань до забудови розраховувались відносно з умовами експериментальної ділянки на вул. Академіка Павлова м. Харкова. Подовжній ухил дороги приймався заданим $i=0\%$. Оптимізувались тільки ширина проїжджої частини і відстань до забудови від бортового каменю.

Розрахунки показали, що для легкового транспортного потоку з інтенсивністю 1272 авт/год відстань до забудови, яка забезпечує норму концентрації забруднюючих речовин, дорівнює 82.6 м. Оптимальна норма викиду, яка забезпечує рух потоку з груповою нормою швидкості, дорівнює 289.59 г/км. Групова норма швидкості дорівнює 54 км/год.

Добір ширини проїжджої частини за програмою ROAD EKO показав, що дану групову норму швидкості забезпечує ширина проїжджої частини 12.3 м та ширина полоси руху 3.1 м. Такі елементи дороги та відстань до забудови має кружна дорога м. Харкова в межах Роганського житлового масиву.

Вимір концентрацій забруднюючих атмосферу речовин на цій дорозі при інтенсивності руху 1280 авт/год та аналогічному розрахунковій ділянці складові руху показали адекватність теоретичних даних експериментальним, рис. 6.

Оцінка адекватності здійснювалась за критерієм Фішера. Дослідне значення критерію Фішера дорівнює 0.3637883. Табличне значення при ступені вільності 44 дорівнює 2.65. Тому що дослідне значення критерію значно менше табличного, можна враховувати, що модель розсіювання забруднюючих атмосферу речовин з довірчою вірогідністю 95% добре описує вивчасний процес. Розходження між розрахунковою та експериментальною концентраціями забруднюючих атмосферу речовин на лінії забудови ($\chi_{\text{орт}} = 82.56$ м) не перевищує 10%. Розрахунок групової норми швидкості руху за програмою ROAD EKO при ширині проїжджої частини, яка дорівнює 12.3 м, показав, що для умов кружної дороги м. Харкова вона дорівнює 58 км/год. Розбіжність між оптимальною та розрахунковою груповими нормами руху не перевищує 7%. Відтак можна вважати, що в найгіршому випадку модель оптимізації елементів дороги або вулиці з довірчою вірогідністю 90% адекватна реальним процесам.

В п'ятій главі приводяться пропозиції про практичне вживання результатів дослідження: методики оцінки екологічної безпеки автомобільних доріг і вулиць; методика розрахунку нормативів викидів забруднюючих атмосферу речовин транспортними потоками; методика системної оптимізації елементів магістральних вулиць і доріг; рекомендації до норм проектування магістральних вулиць і доріг. Показано, що вимоги ДБН 360-92* до елементів вулиць не забезпечують нормальних умов для роботи водіїв транспортних потоків і життєдіяльності населення, яке проживає в придорожній забудові. Вимоги ДБН 360-92* забезпечують лише добрі, екологічно слабо безпечні умови.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. В роботі запропоновано критерії комплексної оптимізації заходів по економії енергоресурсів та зниження забруднення середовища автомобільним транспортом з урахуванням вимог автомобілей, водіїв і пішоходів.

Сформульовано задачі та принципи оптимізації. Запропоновано локальні показники адекватності системи "автомобіль - дорога" принципам функціонування екосистем: принципу найменшої взаємодії, принципу біологічної сумісності; принципу гомеостазису. Запропоновано комплексний показник адекватності автомобільної дороги принципам функціонування екосистем.

Визначено показники ефекту і ефективності оптимізації заходів.

2. Розроблено теоретичну модель оптимізації показників стану системи "дорога - навколишнє природне середовище". Сформульовано локальне правило управління координатами стану системи, яке може використовуватись для вибору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи.

Обґрунтовано необхідну ступінь впливу на вектор системи при обмеженнях по витратах на перетворювання вектора.

3. Розроблено теоретичну модель оптимізації об'ємів робіт на удосконалення елементів доріг і вулиць, які забезпечують зниження видатків палива і кількості викидів забруднюючих атмосферу речовин. Встановлено параметри моделі оптимізації.

4. З результатів експериментальних досліджень встановлені сигнальні значення об'єктів середовища руху в міських умовах, які використовуються для розрахунку інформаційних характери-

стик поля сприйняття водія в моделі розрахунку швидкостей руху автомобілей і транспортного потоку.

Визначено вплив елементів доріг і вулиць на викид забруднюючих речовин і видатки палива. Встановлено, що викид забруднюючих атмосферу речовин залежить від фізичних та інформаційних факторів. До фізичних факторів віднесені: тип і стан автомобіля, тип і стан покриття дорожнього одягу, наявність під'їомів та спусків на дорозі. До інформаційних - елементи автомобільних доріг і їх видимість, елементи обставин шляху, транспортні засоби, пішоходи, забудова, озеленення, тощо.

Показано, що вплив інформаційних факторів на викид забруднюючих атмосферу речовин припиняється при:

ширині частини руху більше 3 м;

величині радіуса кривої в плані більше 400 м;

відстані видимості елементів дороги в плані більше 250 м.

5. Аналіз літературних, розрахункових і експериментальних даних дав змогу встановити характерні величини викидів забруднюючих атмосферу речовин: нормальні, граничні та гранично допустимі. Запропоновано формули для розрахунку характерних викидів.

6. Натурний експеримент ствердив гіпотезу про змогу моделювання розсіювання забруднюючих атмосієру речовин в придорожньому просторі на основі диференційного рівняння Бозанке-Пірсона.

7. Результати експериментальних досліджень з довірчою вірогідністю 95% підтвердили адекватність моделі розрахунку швидкостей руху. Модель оптимізації елементів доріг і вулиць адекватна з довірчою вірогідністю не менше 90%.

8. Теоретичні та експериментальні дослідження, що проведені, дозволили сформулювати рекомендації до норм проєктування магістральних доріг і вулиць, запропонувати алгоритм розрахунку швидкостей руху окремих автомобілей і транспортного потоку в цілому, алгоритм розрахунку викидів забруднюючих атмосферу речовин транспортним потоком, а також методику оцінки екологічної безпеки та оптимізації елементів автомобільних доріг і вулиць.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Линник И.Э. Эколого-экономические критерии проектирования сети автомобильных дорог. Материалы II рабочего совещания "Экологическое значение автомобильных дорог". М.: Изд-во МГУ, 1990, с. 3-10.

2. Линник И.Э. Задачи экологического проектирования магистральных улиц. В сб. научн. трудов: Развитие и совершенствование городского строительства и хозяйства. Киев, УМК ВО, 1991, с. 120-124.

3. Линник И.Э. Оптимизация факторов, влияющих на внутреннее равновесие системы "транспортный поток - дорога - окружающая среда". Республиканский межведомственный научно-технический сборник: Коммунальное хозяйство городов. Вып. I. Киев: Техника, 1992, с. 50-54.

4. Линник И.Э. Модель оптимизации объемов работ по снижению расхода топлива и количества выбросов, загрязняющих атмосферу. В сб. научн. трудов: Вестник ХГАДТУ, Харьков, Изд-во ХГАДТУ, 1996, с. 28-31.

Линник И.Э. Оптимизация мероприятий по снижению расхода топлива и выбросов загрязняющих веществ автомобилями при движении по городским автомобильным магистралям. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 - автомобильные дороги и аэродромы, Украинский транспортный университет, Киев, 1997.

Рассмотрен метод системной оптимизации элементов дорог и улиц по экологическим, эргономическим и технико - экономическим критериям. Предложены принципы и показатели для оптимизации системы "техносфера - биосфера", обеспечивающие максимум времени ее существования. Разработаны методики: оценки экологической безопасности автомобильных дорог и улиц; расчета нормативов выбросов загрязняющих атмосферу веществ транспортными потоками; оптимизации элементов дорог. Предложены рекомендации к нормам проектирования магистральных дорог и улиц, алгоритмы расчета скоростей движения автомобилей, расхода топлива и выбросов загрязняющих атмосферу веществ.

Ключові слова: магістральні вулиці і дороги, системна оптимізація елементів, екологія, ергономіка, техніка.

Linnik I.E. Optimal ways of economizing fuel and reducing the release of toxic wastes by automobiles moving on major highway in populated areas. The for achieving the technical sciences bachelorhood on the theme of 05.22.11 - motorways and airports, Ukrainian Transport University, Kiyiv, 1997.

The systematical optimization of the elements of a road and streets in terms of the ecological, ergonomical and technological aspects was looked into, there were proposals and results of the optimization of the system "Technosphere - Biosphere", that will back the maximum time of its existence. New methods were developed i.e. analysis of the ecological safeness of highways and streets, calculations of scales of the release of toxic wastes to the atmosphere by transport facilities, and the optimal elements of roads. There were recommendation that concerns the architectural projection of highways and streets, computer calculations of the speed of automobiles, the economy of fuel, and the release of toxic wastes to the atmosphere.

Key words: Highways, streets, systematical optimization of elements, ecology, ergonomics, technics.

