

УДК 629.113:504.06

**В.П.Матейчик, М.П.Цюман, Г.О.Вайганг**  
**Національний транспортний університет**  
**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК - ДОРОГА»**

*Розроблено математичну модель системи «транспортний потік – дорога», що дозволяє розраховувати рівень забруднення придорожного середовища транспортними потоками в залежності від параметрів транспортних потоків, характеристик дороги та погодно-кліматичних умов та є основою інформаційно-аналітичної системи моніторингу забруднення придорожного середовища, інтегрованої з ГІС.*

**Ключові слова:** транспортний потік, дорога, середовище, забруднення, модель.

*Рис 6. Табл 1 Літ 10*

**В.П.Матейчик, Н.П.Цюман, А.А.Вайганг**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК – ДОРОГА»**

*Разработана математическая модель системы «транспортный поток - дорога», позволяющая рассчитывать уровень загрязнения придорожной среды транспортными потоками в зависимости от параметров транспортных потоков, характеристик дороги и погодно-климатических условий и является основой информационно-аналитической системы мониторинга загрязнения придорожной среды, интегрированной с ГИС.*

**Ключевые слова:** транспортный поток, дорога, среда, загрязнение, модель.

**V.Mateichyk, M.Tsiuman, H. Vayhanh**  
**SIMULATION OF THE SYSTEM “TRAFFIC FLOW – ROAD”**

*The model of the functioning of the "traffic flow - road", which describes its basic processes, including the formation of harmful substances, heat and noise radiation of a individual vehicle and traffic flow in general, the formation of an appropriate level of contamination of roadside environment for certain sections of the road and the management of these processes in order to reducing the harmful effects of traffic on the roadside environment.*

*The mathematical model of the "traffic flow – road" is based on the functioning model, which allows to calculate the level of contamination of roadside environment by traffic flow based on mass and dimensional parameters, environmental classes, types of fuel used, the mode of movement of vehicles, that make traffic flow, as well as transport and road traffic conditions and environmental exposure factors on the distribution of pollutants. The feature of the mathematical model is the ability to consider the impact on the environmental performance of individual vehicles of a large number of internal parameters, including engine and transmission options, technical condition and temperature control units of vehicles, such as motor and catalytic converter.*

*The mathematical model of the "traffic flow - road" is the basis of information-analytical system for monitoring contamination of roadside environment that provides rapid data collection of traffic flow parameters, the characteristics of the road and weather conditions, analysis and visualization of the results to determine the level of contamination of roadside environment by traffic flow using GIS.*

**Keywords:** traffic flow, road, environment, contamination, model.

**Постановка проблеми.** Ключове місце при вирішенні проблеми екологічного стану навколишнього середовища займає задача моніторингу забруднення довкілля, спричиненого транспортними потоками (ТП). Система екологічного моніторингу транспортних потоків повинна забезпечувати отримання оперативних даних про рівень інгредієнтного і параметричного забруднення навколишнього середовища транспортними потоками, зокрема масові викиди та вміст основних шкідливих речовин, які викидаються з відпрацьованими газами (ВГ) транспортних засобів (ТЗ), в повітрі придорожного середовища та рівень шуму транспортних потоків з урахуванням категорії і маси ТЗ, їх вікового складу та екологічних класів, виду палива, режимів руху ТЗ, що залежать від дорожніх умов (поздовжній і поперечний нахил дороги, план, відстань видимості, облаштованість дороги, тип і стан покриття та ін.) та факторів впливу навколишнього середовища на розповсюдження забруднюючих речовин (напрямок та швидкість вітру, клас стійкості атмосфери, кількість сонячної радіації).

Розробка такої системи екологічного моніторингу представляє складну науково-технічну задачу, що пов'язане зі збором і обробкою інформації про необхідні параметри транспортних потоків і стан дороги та придорожного середовища, аналізом отриманої інформації для визначення рівня забруднення придорожного середовища даним транспортним потоком на даній ділянці дороги, візуалізація результатів аналізу для швидкого сприйняття їх

безпосередніми виконавцями дослідження або автоматичною системою прийняття рішень щодо впровадження заходів зі зниження рівня забруднення придорожного середовища.

Найбільш важливою складовою даної науково-технічної задачі є розробка підсистеми аналізу оперативної інформації про параметри транспортного потоку і стан дороги та придорожного середовища для визначення рівня забруднення придорожного середовища даним транспортним потоком на даній ділянці дороги. Основою такої підсистеми є математична модель, що дозволяє оцінювати вплив окремих транспортних засобів і транспортних потоків в цілому на навколишнє середовище. Розробка такої математичної моделі системи «транспортний потік - дорога» дозволила б здійснювати комплексне дослідження рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками в системі екологічного моніторингу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище присвячені роботи Луканіна В.Н. і Ю.В.Трофименка [6,7,10].

З використанням математичної моделі руху автомобіля проводились дослідження токсичності транспортних засобів в експлуатаційних умовах в системі «водій - автомобіль - дорога – середовище» в докторській дисертації Гутаревича Ю.Ф [2].

Широко застосувались методи системного аналізу в [8] для розробки математичної моделі системи «дорожній транспортний засіб», яка дозволяє оцінювати рівень екологічної безпеки та здійснювати вибір способів її підвищення для дорожніх транспортних засобів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Пряме використання результатів попередніх досліджень для вирішення поставленої задачі недопустиме внаслідок істотних змін якісного складу автомобільного парку з моменту виконання попередніх досліджень, непристосованості вхідних даних, що використовуються в існуючих математичних моделях до можливостей технічних засобів збору та обробки інформації про параметри транспортних потоків і стан дороги та придорожного середовища, відсутності загальної системної моделі, яка б дозволяла в режимі реального часу на основі параметрів окремих транспортних засобів, що складають транспортний потік певної інтенсивності, який рухається з визначеною швидкістю на визначеній ділянці дороги з відповідними атмосферними, природними і кліматичними умовами оцінювати рівень інгредієнтного і параметричного забруднення навколишнього середовища поблизу цієї дороги.

Тому, розглянуті результати попередніх досліджень в напрямку поставленої проблеми являють собою основу для розробки математичної моделі системи «транспортний потік - дорога», що може бути застосована в інформаційно-аналітичній системі моніторингу транспортних потоків.

**Метою статті** є розробка математичної моделі системи «транспортний потік - дорога» для визначення рівня забруднення придорожного середовища в інформаційно-аналітичній системі моніторингу транспортних потоків.

**Результати досліджень.** Система «транспортний потік – дорога» (рис. 1) чинить багатокомпонентну дію на придорожнє середовище: інгредієнтну (викиди шкідливих речовин) і параметричну (шумове і теплове забруднення).



Рис.1. Структура системи «транспортний потік - дорога»

В результаті параметричного опису системи «транспортний потік – дорога» до основних параметрів, що характеризують інгредієнтне забруднення придорожного середовища транспортними потоками, віднесено: оксид вуглецю  $CO$ ; вуглеводні  $C_mH_n$ , зокрема і ті, що мають канцерогенні властивості; оксиди азоту  $NO_x$ ; тверді частинки ТЧ і сажа  $C$ ; двооксид сірки  $SO_2$ ; сполуки свинцю  $Pb$ . Рівень інгредієнтного забруднення придорожного середовища залежить від параметрів, що характеризують режими руху, категорії транспортних засобів, що складають транспортний потік, їх екологічні класи, вид використовуваного палива.

Моніторинг рівня забруднення придорожного середовища системою «транспортний потік - дорога» найбільш ефективно може бути забезпечений при використанні географічних інформаційних систем (ГІС) [9]. На основі ГІС можуть створюватися підсистеми для вирішення задач управління і прийняття рішень щодо заходів з попередження забруднення навколишнього середовища, а також геоінформаційні модулі, які будуть доступні через мережу Інтернет. Концептуальна модель системи моніторингу та прогнозування забруднення придорожного середовища транспортними потоками з використанням ГІС повинна складатися з чотирьох основних підсистем (рис. 2):

- підсистема збору і збереження інформації з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), статистичних даних та наземних спостережень;
- підсистема управління, обробки та аналізу даних з розрахунком рівня забруднення придорожного середовища та блоком обробки картографічної інформації та створенням реляційної бази даних з оперативними даними;
- підсистема моделювання рівня забруднення придорожного середовища;
- підсистема відображення і виводу інформації з інтеграцією всіх даних та наданням можливості візуалізації забруднень.

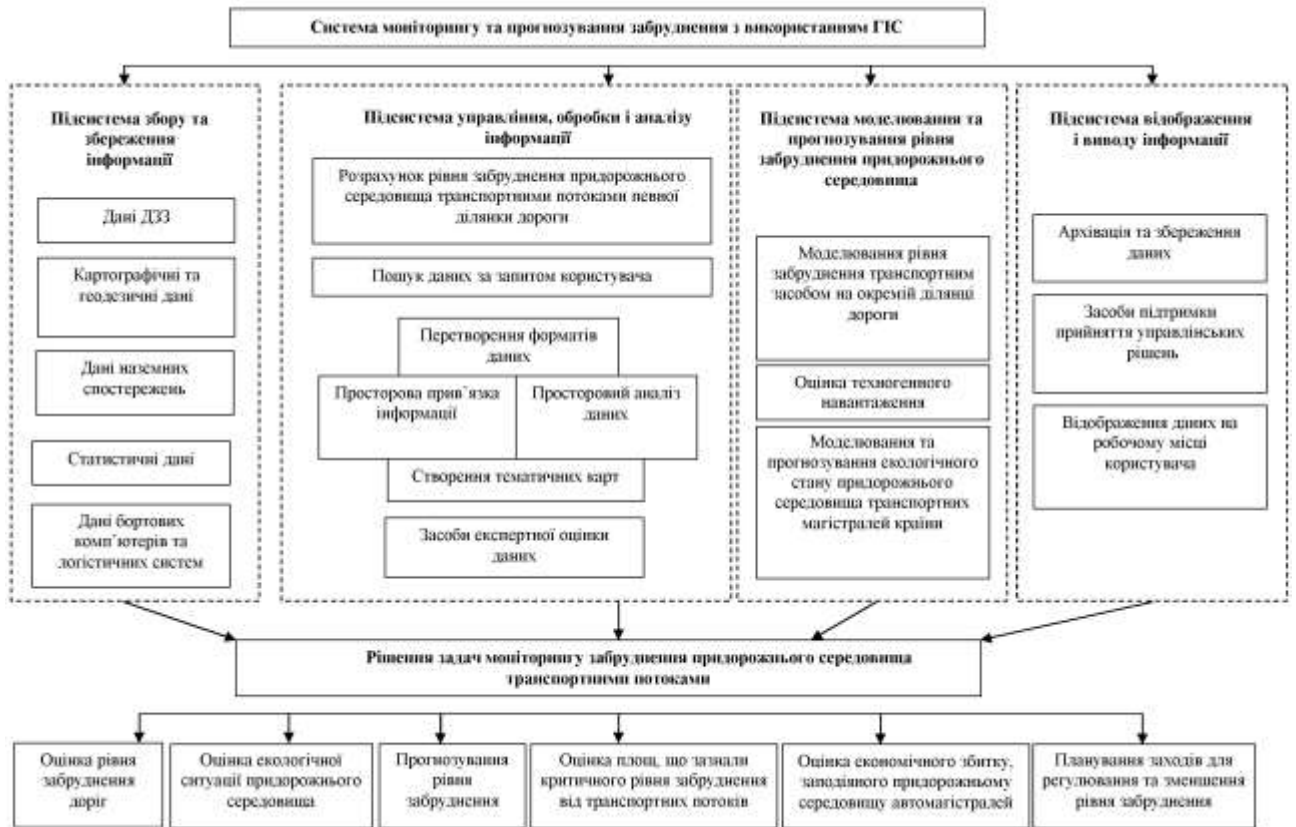


Рис. 2. Концептуальна модель системи моніторингу та прогнозування забруднення придорожнього середовища транспортними потоками з використанням ГІС

З метою розробки математичної моделі системи «транспортний потік – дорога» спочатку представимо її в системних об’єктах (рис. 3). Отримана таким чином модель функціонування системи описує процеси утворення шкідливих речовин, теплового та шумового випромінювання окремого транспортного засобу (рівні А, С, D), процеси управління окремими підсистемами транспортних засобів, зокрема і з метою мінімізації викидів шкідливих речовин, шумового та теплового забруднення середовища окремими ТЗ (рівні В, Е), формування загальної шкідливої дії транспортного потоку на придорожнє середовище (рівень F), формування відповідного рівня забруднення придорожнього середовища визначеної ділянки дороги (рівень G), управління параметрами транспортного потоку, дороги та її облаштування з метою зниження рівня інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища (рівні H, I). Умовні позначення параметрів системи «транспортний потік - дорога», що використані на рис. 3 наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Умовні позначення в моделі функціонування системи «транспортний потік - дорога» (рис. 3)

№ п/п	Позначення	Найменування
1.	$p_0, T_0$	Параметри стану навколишнього середовища
2.	$G_{нал}, G_{нов}$	Витрати палива і повітря ТЗ
3.	$M_e, n_d$	Крутний момент і частота обертання колінчастого вала двигуна
4.	$m_i, E_T, W$	Масові викиди шкідливих речовин, тепла енергія та шумове випромінювання енергоустановкою ТЗ
5.	$g_e$	Питома ефективна витрата палива двигуном
6.	$\eta_{тр}$	К.к.д. трансмісії
7.	$M_k, n_k$	Крутний момент і частота обертання на ведучих колесах ТЗ

8.	$P_W, P_f, P_i$	Сили опору повітря, коченню та підйому ТЗ
9.	$V_a, dV_a/dt$	Швидкість та прискорення ТЗ
10.	$m_{ikpj}, L_k$	Викиди шкідливих речовин та рівень звукового тиску ТЗ
11.	$\varphi_{\partial i}, v_{\partial i}, n_{\partial ki}$	Ступінь та швидкість натискання на важіль управління паливоподачею та частота обертання при перемиканні на вищу передачу
12.	$t_{ni}, u_i$	Час перемикання та передаточне число відповідної передачі коробки передач
13.	$\psi, \varphi$	Коефіцієнт дорожнього опору та коефіцієнт зчеплення коліс ТЗ з дорогою
14.	$u$	Швидкість вітру
15.	$s, r_{cm}, l, l_{вид}$	Кількість та ширина смуги дороги, інтервал між ТЗ, відстань видимості
16.	$I, V$	Інтенсивність та швидкість ТП
17.	$M_i, E_{\Sigma T}, W_{\Sigma}$	Викиди $i$ -тої шкідливої речовини, теплової та акустичної енергії ТП
18.	$M_i', E_{\Sigma T}', W_{\Sigma}'$	Обсяги розсіювання $i$ -тої шкідливої речовини за межі придорожного середовища, поглинутої теплової та акустичної енергії елементами дорожніх споруд
19.	$M_i'', E_{\Sigma T}'', W_{\Sigma}''$	Обсяги $i$ -тої шкідливої речовини, непоглинутої теплової та акустичної енергії, що залишаються в придорожному середовищі
20.	$C_i, ГДК_i$	Вміст і гранично допустима концентрація $i$ -тої шкідливої речовини у повітрі придорожного середовища
21.	$L_{екв \Sigma}, ГДР$	Еквівалентний та гранично допустимий рівень шуму в придорожному середовищі

Математична модель системи «транспортний потік – дорога», що побудована на основі наведеної вище моделі функціонування, дозволяє розраховувати рівень забруднення придорожного середовища транспортними потоками в залежності від масо-габаритних параметрів, екологічних класів, видів використовуваного палива, режимів руху ТЗ, що складають ТП, а також транспортних та дорожніх умов руху та факторів впливу навколишнього середовища на розповсюдження забруднюючих речовин. Окрім названих факторів на екологічні показники окремих ТЗ значно впливає велика кількість їх внутрішніх параметрів, зокрема параметри двигуна та трансмісії, технічний стан та температурний режим агрегатів ТЗ, таких як двигун та нейтралізатор. Ці внутрішні параметри, що складають, так званий, розширений перелік параметрів ТЗ, достатньо складно оперативного отримати від ТЗ, що рухаються в транспортному потоці. Тому, при моделюванні екологічних показників окремих ТЗ в транспортному потоці застосовують підхід, що складається з двох етапів:

- попереднє визначення екологічних показників ТЗ різних категорій з використанням математичної моделі руху автомобіля на макрорівні [1] в залежності від розширеного переліку внутрішніх параметрів ТЗ в різних режимах і умовах їх руху та з різним завантаженням;

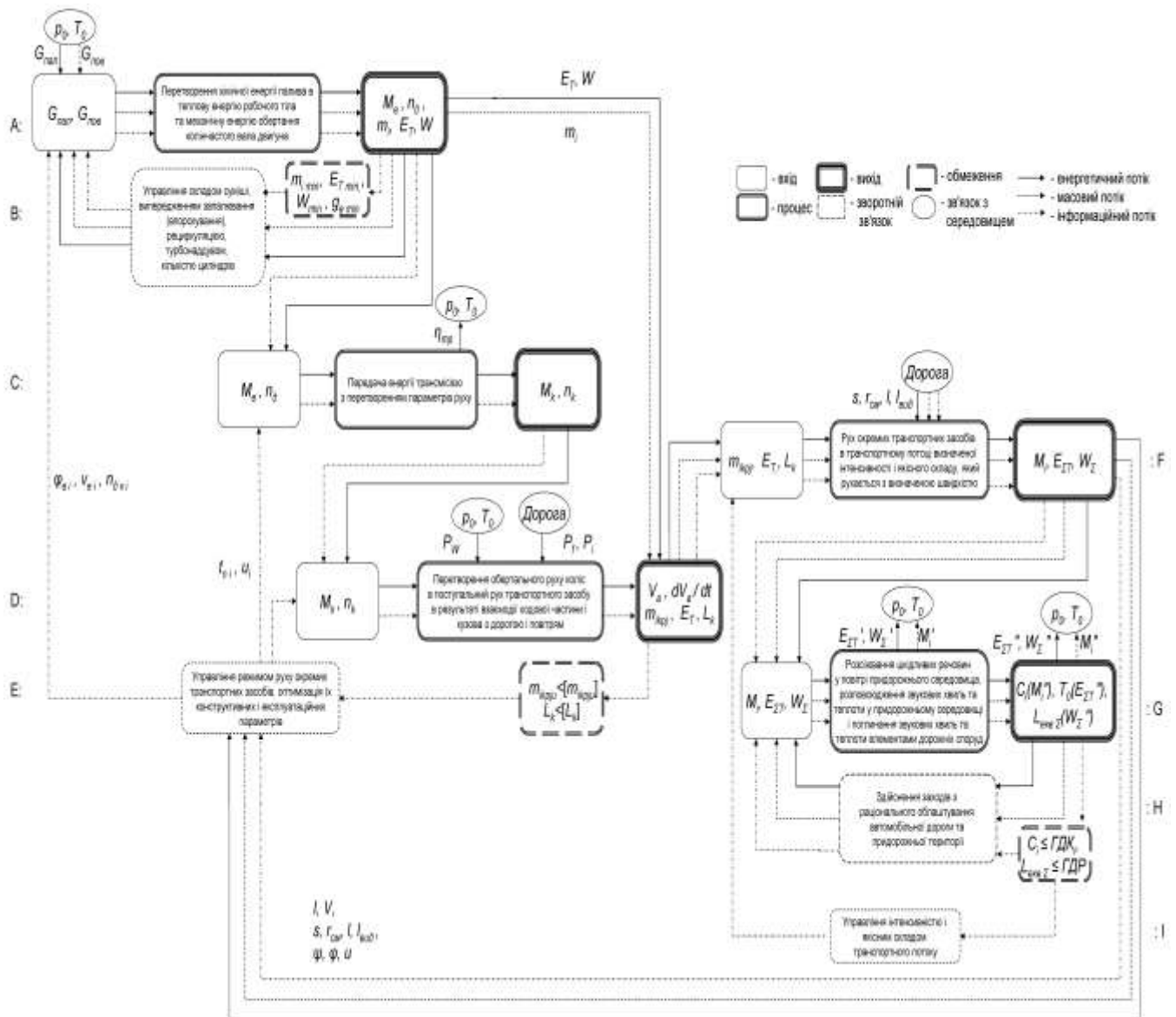


Рис. 3. Модель функціонування системи «транспортний потік дороги»

- оперативне визначення екологічних показників ТЗ в функції від часу з використанням емпіричних математичних моделей, побудованих на основі даних першого етапу моделювання, в залежності від масо-габаритних параметрів ТЗ, їх екологічних класів, виду використовуваного палива, режимів руху ТЗ, стану дорожнього покриття і погодних умов.

З метою реалізації першого етапу моделювання використовуються положення теорії автомобіля [4]. Для встановлення впливу параметрів двигуна та режимів його роботи на екологічні показники транспортних засобів використовується математична модель робочого процесу двигуна, розроблена на основі методу об'ємного балансу [3]. Як приклад, на рис. 4 зображена укрупнена структура математичної моделі руху автомобіля, обладнаного двигуном з іскровим запалюванням з системами рециркуляції та нейтралізації відпрацьованих газів.

Математична модель реалізує чотири основних процеси: перетворення в ДВЗ хімічної енергії палива  $E_x$  в теплову  $E_T$ , а потім в механічну  $E_M$  (рівень А), знешкодження шкідливих компонентів ВГ в нейтралізаторі (рівень С), передача енергії від ДВЗ до коліс з перетворенням параметрів руху, тобто робочий процес трансмісії автомобіля (рівень Е) та перетворення обертального руху коліс в поступальний рух автомобіля, тобто процес взаємодії ходової частини та кузова автомобіля з середовищем (дорогою та повітрям) (рівень G). Управління цими процесами відбувається за допомогою зворотних зв'язків (рівні В, D, F і H).

Входом системи на рівні А є паливо  $G_{\text{пал}}$ , повітря  $G_{\text{пов}}$ , які надходять із навколишнього середовища, що характеризується тиском  $p_0$  і температурою  $T_0$ , та рециркульовані ВГ  $G_{R_{\text{ВГ}}}$ , кількістю яких керує зворотний зв'язок (рівень В). Кількість повітря  $G_{\text{пов}}$  визначається в залежності від параметрів навколишнього середовища, геометричних параметрів впускної системи (довжина  $l_{\text{ен}}$  і діаметр  $d_{\text{ен}}$  впускного колектора), ефективних прохідних перерізів впускного  $\mu f_{\text{ен.к}}$  і випускного  $\mu f_{\text{вип.кл.}}$  клапанів, фаз відкриття  $\varphi_{\text{е.ен.}}$  і закриття  $\varphi_{\text{з.ен.}}$  впускного клапану, величини підігріву повітря у впускній системі  $\Delta T_{\text{ен}}$ , частоти обертання колінчастого вала двигуна  $n_d$  і ступеня відкриття дросельної заслінки  $\varphi_{\text{др}}$ , кількості рециркульованих ВГ  $G_{R_{\text{ВГ}}}$ , яка в свою чергу залежить від ступеня відкриття клапану рециркуляції ВГ  $f_{\text{ВГ}}$ . В залежності від кількості повітря і необхідного коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$  визначається кількість палива  $G_{\text{пал}}$ .

Ці вхідні компоненти, а також інформаційні дані про частоту обертання колінчастого вала  $n_d$ , кут відкриття дросельної заслінки  $\varphi_{\text{др}}$  і ступінь рециркуляції ВГ  $R_{\text{ВГ}}$  передаються в процес рівня А. В процесі цього рівня відбувається перетворення хімічної енергії  $E_x$  горючої суміші в теплову енергію  $E_t$ , яка визначається параметрами стану робочого тіла: масою  $m$ , об'ємом  $V$ , тиском  $p$  і температурою  $T$  та перетворюється в механічну енергію  $E_m$ , що характеризується крутним моментом  $M_e$  і частотою обертання  $n_d$  колінчастого вала. Частина вхідної енергії в цьому процесі втрачається внаслідок тертя і теплообміну в двигуні і віддається в навколишнє середовище у вигляді теплоти систем мащення  $Q_{\text{ол}}$  і охолодження  $Q_{\text{ох}}$ . Отримана механічна енергія  $E_m$ , відпрацьовані гази  $G_{\text{ВГ}}$ , теплова енергія, кількість якої залежить від кількості ВГ та їх температури  $T_{\text{ВГ}}$  та шумове забруднення  $W$  являють собою вихід рівня А.

Зворотній зв'язок (рівень В) забезпечує управління складом суміші, кутом випередження запалювання  $\theta$  і ступенем рециркуляції ВГ  $R_{\text{ВГ}}$ . Управляючими параметрами для визначення складу суміші є режим роботи двигуна і концентрація кисню  $C_{\text{O}_2}$  у ВГ, а реалізуються необхідний склад суміші відповідним часом впорскування палива  $t_{\text{впр}}$ . Ступінь рециркуляції ВГ  $R_{\text{ВГ}}$  залежить від режиму роботи двигуна і визначається величиною відкриття клапана рециркуляції ВГ. Кут випередження запалювання також залежить від режиму роботи двигуна, ступеня рециркуляції ВГ і сигналу датчика детонації  $p_{\text{ДД}}$ . Головною метою оптимізації цих параметрів є забезпечення мінімальної питомої ефективної витрати палива  $g_{e \text{ min}}$  на всіх режимах роботи двигуна.

Входом процесу рівня С є теплова енергія  $E_t$ , яку несуть с собою відпрацьовані гази  $G_{\text{ВГ}}$ . В результаті протікання процесу нейтралізації, в залежності від його ефективності, токсичні компоненти ВГ оксид вуглецю  $\text{CO}$ , вуглеводні  $\text{C}_m\text{H}_n$  і оксиди азоту  $\text{NO}_x$  перетворюються в нетоксичні вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ , воду  $\text{H}_2\text{O}$  і азот  $\text{N}_2$  з використанням теплової енергії ВГ, частина якої  $Q_{\text{ст}}$  віддається в навколишнє середовище через стінки елементів випускної системи.

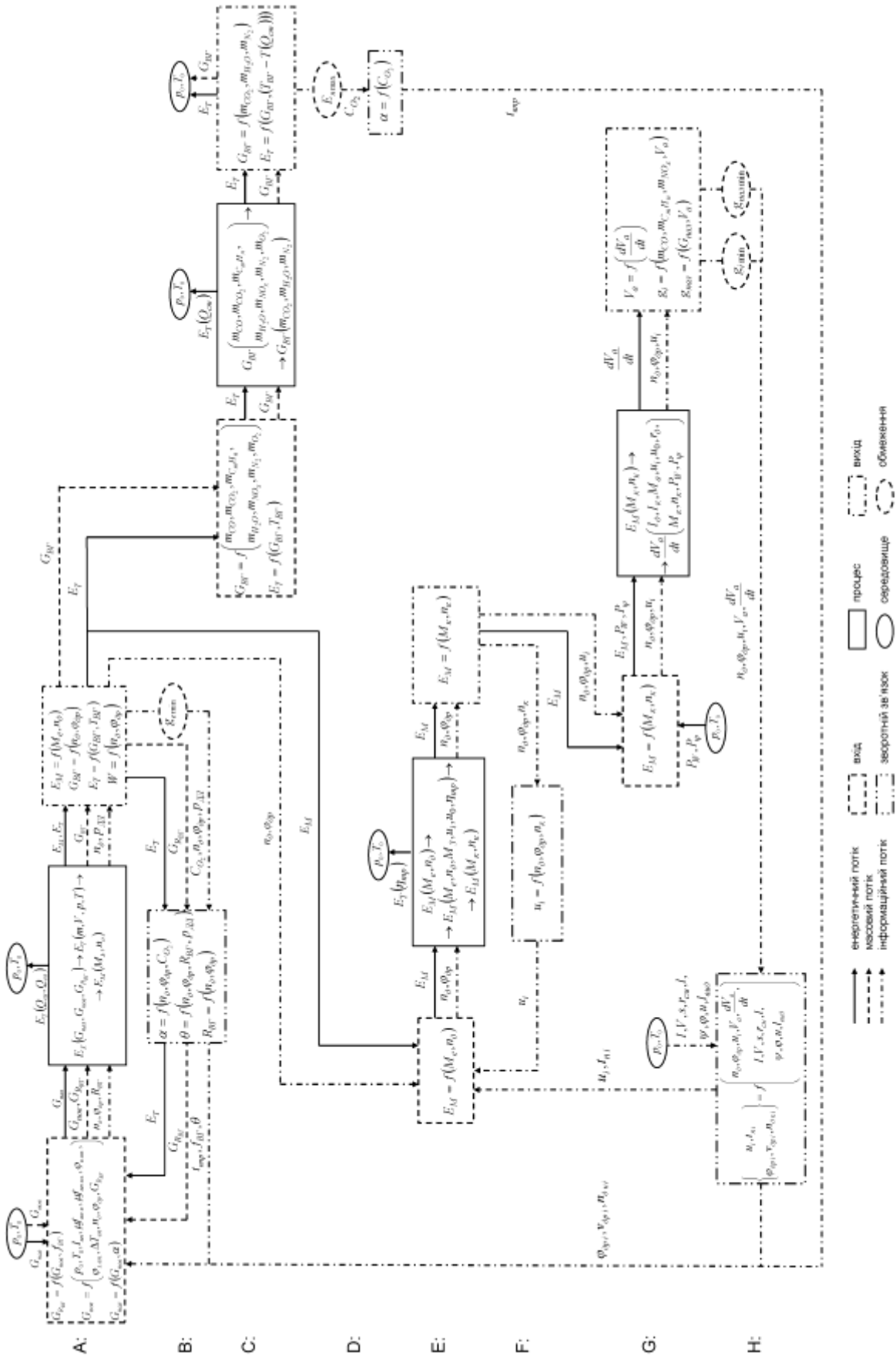


Рис. 4. Укрупнена структура математичної моделі руху автомобіля

©В.П.Матейчик, М.П.Цюман, Г.О. Вайган



Виходом рівня С є очищені ВГ і залишкова теплова енергія, які потрапляють в навколишнє середовище. На рівні D зворотний зв'язок здійснює контроль ефективності процесів нейтралізації, аналізуючи вміст кисню в очищених ВГ, та реалізує за необхідності додаткову корекцію складу паливоповітряної суміші для забезпечення максимальної ефективності нейтралізації  $E_{n\max}$ .

Системні об'єкти рівнів E і F описують трансмісію автомобіля. Енергетичний вихід процесу рівня А ( $M_e$  і  $n_d$ ) є входом процесу рівня E. Результатом передачі енергії трансмісією є крутний момент  $M_k$  на колесах, величина якого в загальному випадку залежить від моменту тертя зчеплення  $M_z$ , передаточних чисел коробки передач  $u_i$ , головної передачі  $u_0$  та к.к.д. трансмісії  $\eta_{mp}$ , і частота обертання коліс автомобіля  $n_k$ . В процесі передачі механічної енергії до коліс автомобіля частина цієї енергії втрачається на тертя в елементах трансмісії і віддається в навколишнє середовище у вигляді теплової енергії, що визначається  $\eta_{mp}$ .

Автоматичний вибір передаточних чисел коробки передач  $u_i$  для зближення показників на виході з необхідними забезпечує підсистема зворотного зв'язку (рівень F) у випадку застосування автоматичної трансмісії. Передаточне число визначається в цьому випадку в залежності від режиму роботи двигуна і частоти обертання ведучих коліс автомобіля або вихідного вала коробки передач.

Внаслідок взаємодії автомобіля через ходову частину (колеса) і кузов з середовищем (дорогою і повітрям), що характеризується силою дорожнього опору  $P_\psi$  і силою опору повітря  $P_w$ , здійснюється перетворення обертального руху коліс в поступальний рух автомобіля (рівень G). В процесі такої взаємодії механічна енергія обертання коліс перетворюється в механічну енергію руху автомобіля, яка в загальному випадку характеризується прискоренням, що визначає режим руху автомобіля (розгін, усталений рух, сповільнення) та залежить від зведених моментів інерції двигуна  $I_d$  і коліс  $I_k$  автомобіля, його маси  $M_a$ , передаточного числа трансмісії, динамічного радіуса коліс  $r_d$ , їх частоти обертання і крутного моменту на ведучих колесах, сил опору руху автомобіля. Виходом підсистеми G і системи загалом є швидкість автомобіля  $V_a$  та його прискорення  $\frac{dV_a}{dt}$ , питомі витрати палива  $g_{нал}$  і викиди шкідливих речовин  $g_i$  за одиницю пробігу автомобіля.

Зворотній зв'язок (рівень H) управляє процесами рівнів А і E для реалізації необхідного закону руху автомобіля  $V_a = f(S)$  або  $V_a = f(t)$ , що залежить від дорожніх, транспортних, атмосферних та інших факторів, які мають місце на реальному маршруті (інтенсивності  $I$  і швидкості руху  $V$  транспортного потоку, кількості смуг руху  $s$  і їх ширини  $r_{см}$ , інтервалу між ТЗ  $l$ , коефіцієнта дорожнього опору  $\psi$ , коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою  $\phi$ , швидкості і напрямку вітру  $u$ , відстані видимості  $l_{вид}$ ), а також мінімізації питомої витрати палива  $g_{нал\min}$  і питомих викидів шкідливих речовин  $g_{i\min}$ , через завдання значень величини  $\phi_{dpi}$  і швидкості  $v_{dpi}$  відкриття дросельної заслінки, частоти обертання двигуна  $n_{dki}$ , при якій відбувається переключення на більш високу передачу при розгоні, вибір передаточного числа  $u_i$  коробки передач і часу переключення передачі  $t_{ni}$ .

Ці параметри визначають режими роботи двигуна, тобто значення витрат палива  $G_{нал}$  і повітря  $G_{пов}$ , необхідних для отримання крутного моменту  $M_e$  і частоти обертання  $n_d$  двигуна для реалізації того чи іншого закону руху автомобіля.

Приведена вище методика моделювання рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками є важливою складовою в підсистемі аналізу оперативної інформації про параметри транспортного потоку, характеристики дороги та погодно-кліматичні умови, що складають вхідні дані (рис. 5) в інформаційно-аналітичній системі моніторингу транспортних потоків.

Загальна принципова схема інформаційно-аналітичної системи моніторингу транспортних потоків зображена на рис. 6.

Вхідні параметри системи		
<b>Транспортний потік</b>	<b>Дорога</b>	<b>Атмосферні умови</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• категорія ТЗ,</li> <li>• вид палива,</li> <li>• екологічний клас</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• довжина ділянки,</li> <li>• час спостереження,</li> <li>• кількість смуг дороги,</li> <li>• наявність розділювальної смуги,</li> <li>• величина поздовжнього похилу проїзної частини,</li> <li>• вид покриття,</li> <li>• поверхневий покрив придорожньої смуги</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• швидкість вітру,</li> <li>• напрям вітру відносно осі дороги,</li> <li>• відстань від джерела викиду до розрахункової точки,</li> <li>• атмосферні умови</li> </ul>
<b>Параметри дослідження</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• дата спостереження,</li> <li>• назва дороги/ділянки,</li> <li>• режим руху,</li> <li>• швидкість</li> </ul>		

Рис. 5. Комплекс вхідної інформації для роботи системи моніторингу



Рис. 6. Загальна принципова схема інформаційно-аналітичної системи моніторингу транспортних потоків

З метою забезпечення оперативності надходження вхідних даних в інформаційно-аналітичну систему, застосовують бортові інформаційно-діагностичні комплекси на ТЗ, що забезпечують надходження даних в режимі реального часу на спеціально створений сервер [5]. Застосування ГІС забезпечує візуалізацію результатів оцінки рівня інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища конкретної автомагістралі.

**Висновки.** Розроблено модель функціонування системи «транспортний потік – дорога», що описує її основні процеси, зокрема утворення шкідливих речовин, теплового та шумового випромінювання окремого транспортного засобу та транспортного потоку в цілому, формування відповідного рівня забруднення придорожнього середовища визначеної ділянки дороги та управління цими процесами з метою зниження шкідливої дії транспортних потоків на придорожнє середовище.

На основі розробленої моделі функціонування побудована математична модель системи «транспортний потік – дорога», що дозволяє розраховувати рівень забруднення придорожнього середовища транспортними потоками в залежності від масо-габаритних параметрів, екологічних класів, видів використовуваного палива, режимів руху ТЗ, що складають ТП, а також транспортних та дорожніх умов руху та факторів впливу навколишнього середовища на розповсюдження забруднюючих речовин. Особливістю математичної моделі є можливість врахування впливу на екологічні показники окремих ТЗ великої кількості їх внутрішніх

параметрів, зокрема параметрів двигуна та трансмісії, технічного стану та температурного режиму агрегатів ТЗ, таких як двигун та нейтралізатор.

Розроблена математична модель системи «транспортний потік – дорога» є основою інформаційно-аналітичної системи моніторингу забруднення придорожного середовища, яка забезпечує оперативний збір та обробку даних про параметри транспортного потоку, характеристики дороги та погодно-кліматичні умови, аналіз і візуалізацію результатів визначення рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками з використанням ГІС.

В сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій удосконалення інформаційно-аналітичної системи моніторингу транспортних потоків можливе за рахунок розширення пакету аналізу оцінювання рівня інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного середовища транспортними потоками; адаптації та імпорту отриманих результатів до систем прийняття рішень та надання рекомендацій на їх основі.

1. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях: [Монографія] / Ю.Ф. Гутаревич –К.: Вища школа, 1991. - 179 с.
2. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02, 05.22.10 / Гутаревич Юрий Феодосиевич. – К., 1986.
3. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згорання: Теорія: підручник / В.Г. Дяченко; за ред. А.П. Марченка. - Харків: НТУ ХП, 2008. – 488 с.
4. Зимелев Г.В. Теория автомобиля / Г.В. Зимелев - М.: Воениздат, 1957. - 455 с.
5. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография / В.П.Волков, В.П.Матейчик, О.Я.Никонов и др.; под ред. В.П. Волкова – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 398 с.
6. Луканин В.Н. Постановка оптимизационных задач в системе «Автотранспортный комплекс - окружающая среда» / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко, А.В. Ефремов // Транспорт: наука, техника, управление. Сборник обзорной информации. - 1993. - № 5. - С. 5-12.
7. Луканин В.Н. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. Автомобильный и городской транспорт. – М., 1996. – 339 с.
8. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: Монографія / В.П. Матейчик – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
9. Мокін В.Б. Оптимальний вибір ГІС-програм для інтернет-картографування даних екологічного моніторингу / В.Б. Мокін, М.С. Вікторов // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – С. 57-63.
10. Трофименко Ю.В. Теория экологических характеристик автомобильных энергоустановок: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.04.02, 05.22.10 / Трофименко Юрий Васильевич; Московский автомобильно-дорожный институт. - М., 1996. – 43 с.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2014.