УДК 656.212.5

ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Висвітлюється питання розробки методики розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок. Розроблена методика дозволяє проводити комплексний розрахунок оптимальної висоти та поздовжнього профілю сортувальних гірок

І.В. Берестов
Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри*

О.М. Огар
Кандидат технічних наук, доцент*

О.Б. Ахієзер
Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра «Комп'ютерна математика та математичне моделювання»
Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут"

М.Ю. Куценко
Аспірант*
Кафедра «Залізничні станції та вузли»
Українська державна академія залізничного транспорту
пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків
Контактний тел.: 8-068-953-37-86, 730-10-42

1. Вступ

Сьогодення вітчизняної економіки та відома кон'юнктура на ринку енергоносіїв диктують певні вимоги до промисловості України. Основним лейтмотивом цих вимог є мінімізація витрат при виробництві продукції. З боку Укрзалізниці ця проблема повинна розв'язуватися стосовно зниження собівартості вантажних перевезень. Враховуючи значне падіння обсягів останніх, це питання набуває особливо гострої актуальності [1].

2. Основна частина

В роботі [2] авторами було звернуто увагу на те що, однією зі складових, яка доволі суттєво впливає на загальну собівартість перевезення, є собівартість переробки вагону на сортувальному пристрої. Як відомо, на шляху прямування від пункту відправлення до пункту призначення таких переробок вагони можуть зазнавати декілька разів. Згідно з [2], на собівартість переробки вагону впливає багато чинників, серед яких особливо варто відзначити витрати на амортизацію, запасні частини та технічне обслуговування пристроїв регулювання швидкості відчепів, які прямо пропорційні їх вартості (на сьогодні вартість вітчизняного уповільнювача НК-114 складає 900 тис. грн. [4]) та витрати на електроенергію для регулювання швидкості руху відчепів, вартість якої для промисловості суттєво підвищилася. Отже, проблема, яка вже неодноразово висвітлювалася у роботах [5-7] щодо невідповідності енерговитрат, якими супроводжується сортувальний процес до розмірів переробки вагонів сортувальними пристроями, набуває особливої актуальності.

Відомо, що потрібна потужність уповільнювачів і, як наслідок, їх кількість, на сортувальній гірці прямо пропорційно залежить від висоти та поздовжнього профілю останньої. Звідси витікає, що вищезгадані конструктивні параметри повинні розраховуватися комплексно.

Проте, згідно з [8], спочатку розраховується висота сортувальної гірки, а вже потім намічаються уклони дільниць поздовжнього профілю. Такий підхід не є ефективним, та не дозволяє отримати оптимальні конструктивні параметри сортувальної гірки, що дозволило б оптимізувати потрібну потужність уповільнювачів [5-7, 9].

Зважаючи на вищезазначене, авторами в роботі [2] було отримано математичну модель для визначення оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок. В якості критерію оптимізації було обрано потрібну потужність уповільнювачів спускної частини

$$
\begin{aligned}
H_{тсч} = A(B + (\sum_{j=1}^{Z_1}(G_j I_1 + D_j(E_j + F_j I_1)) + \\
+ \sum_{j=Z_1+1}^{Z_2}(G_j I_2 + D_j(E_j + F_j I_2)) + \ldots + \\
+ \sum_{j=Z_{x-1}+1}^{Z_x}(G_j I_x + D_j(E_j + F_j I_x)))) \to H_{тсч(\min)}
\end{aligned} \quad . \tag{1}
$$

Складові цільової функції (1) докладно розглянуті в [2].

Мінімізацію отриманої цільової функції (1) необхідно здійснювати при нелінійних обмеженнях-рівностях

$$
\begin{aligned}
&D_1 = f_{D_1}(V_0), E_1 = f_{E_1}(V_0) \\
&D_2 = f_{D2}(V_0, i_1), E_2 = f_{E_2}(V_0, i_1) \\
&D_3 = f_{D3}(V_0, i_1, i_2), E_3 = f_{E_3}(V_0, i_1, i_2) \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&D_{Z_x} = f_{D_{Z_x}}(V_0, i_1, i_2, \ldots, i_{Z_{x-1}}), E_{Z_x} = f_{E_{Z_x}}(V_0, i_1, i_2, \ldots, i_{Z_{x-1}}),
\end{aligned}
$$

лінійних обмеженнях-рівностях

$$
\begin{cases}
L_{пр(РБ)} = L_р \\
H^{ГП}_{Г(ДХБ)} = 0 \\
V^{ПГП}_{вих(ДХБ)} = 1{,}4
\end{cases} .
$$

та лінійних обмеженнях-нерівностях

$$
\begin{cases}
I_1^{\min} \le I_1 \le 50 \\
I_2^{\min} \le I_2 \le I_2^{\max} \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
I_x^{\min} \le I_x \le I_x^{\max} \\
I_1 - I_2 \le 25 \\
H^{ГП}_{Г(ДХБ)} \le n_у h_{вд} \\
V^{ГП}_{вх(ДХБ)} \le V^{ГП}_{вх(\max)} \\
T_0 \le T_0^{\max}
\end{cases} ,
$$

У даному випадку маємо оптимізаційну задачу з обмеженнями.

Оскільки дану задачу неможливо звести до задачі безумовного екстремуму, то розглянемо інші шляхи вирішення цієї задачі.

Безпосередньо застосування відомого методу множника Лагранжа технічно ускладнено оскільки число обмежень-рівностей є доволі великим. З іншого боку, метод просто не можна застосувати безпосередньо якщо обмеженнями є нерівності [10].

Таким чином, необхідний метод, який дозволить з мінімальною кількістю перебору точок знайти мінімальне значення Нтсч.

Градієнтні методи можна застосовувати при вирішенні, в більшості випадків, будь-якої задачі нелінійного програмування [10]. Для випуклої функції необхідною та достатньою умовою оптимальності точки I^* є рівність нулю градієнта функції у цій точки. У допустимій області необхідно взяти довільну точку I_0 і, оскільки задача на мінімум, за допомогою антиградієнту визначити напрямок, в якому Нтсч зменшується з найбільшою швидкістю. Зробивши невеликий „крок" у знайденому напрямку, необхідно перейти в нову точку I_1. Потім знову визначається найкращий напрямок для переходу в чергову точку I_2 і так далі. Інакше кажучи, необхідно побудувати послідовність точок I_0, I_1, I_2,..., I_n так, щоб вона сходилася у точці екстремуму I^*, тобто для точок цієї послідовності виконувалися умови.

$$
H_{тсч}(I_0) > H_{тсч}(I_1) > H_{тсч}(I_2) > \ldots > H_{тсч}(I_n) \quad . \tag{2}
$$

Величина кроку з точки I_0 у напрямку антиградієнта $-\bar{\nabla} H_{тсч}(I)$ визначається значенням параметру λ у рівнянні прямої

$$
I = I_0 + \left(-\bar{\nabla} H_{тсч}(I_0)\right) \cdot \lambda \ , \tag{3}
$$

що проходить через I_0 паралельно антиградієнту. Переміщення по прямій (3) у нову точку I_1 супроводжується зміною функції $H_{тсч}(I)$ на величину $\Delta H_{тсч}(I)$, яка залежить від обраного значення λ. Значення λ^*, при якому прирощення $\Delta H_{тсч}(I)$ досягає найбільшої величини, можна визначити, використовуючи необхідний признак екстремуму $\Delta H_{тсч}(I)$

$$
\frac{d\Delta H_{тсч}}{d\lambda} = (-\bar{\nabla} H_{тсч}(I_1))(-\bar{\nabla} H_{тсч}(I_0)) = 0 \ . \tag{4}
$$

Однак, недоліком градієнтного методу є те, що він приводить лише до локального екстремуму, а тому є більш ефективним при вирішенні задач випуклого нелінійного програмування, у яких всякий локальний екстремум є одночасно і глобальним. Більш того, градієнтний метод, як правило, дає рішення за безкінечну кількість кроків [10].

Згідно з [10], одним з методів знаходження умовного екстремуму при великій системі обмежень, яка містить як рівності так і нерівності, є підхід, що пов'язаний з введенням штрафних функцій. Можливість використання такого підходу до вирішення оптимізаційної задачі на умовний екстремум витікає з наступних міркувань.

Функція $H_{тсч}(I)$ - функція n змінних, мінімум якої необхідно відшукати. Причому оптимізуючий вектор I^* повинен лежати всередині певної допустимої області $G(I)$, що задається обмеженнями

$$g(I_i) \le 0 \quad (5)$$

Виведемо штрафну функцію

$$B(I) = \begin{cases} 0, I \in G(I), \\ \infty, I \notin G(I) \end{cases}. \quad (6)$$

Комбінуючи $H_{тсч}(I)$ і $B(I)$, складемо функцію

$$\Phi(I) = H_{тсч}(I) + B(I) \ . \quad (7)$$

Зрозуміло, що вектор I, який мінімізує (7), є шуканим. Однак задача (7) не може бути вирішена безпосередньо через складнощі формування функції $B(I)$ [10]. Тому на практиці використовують деякі апроксимації $B(I)$, характер яких залежить від роду обмежень. Якщо систему обмежень $G(I)$ можливо звести до сукупності рівностей $g(I_i) = 0$, $i = \overline{1,m}$, то

$$B_k(I) = c_k \cdot \sum_{i=1}^{m} g_i^2(I), \ k = 1,2,... \quad (8)$$

де $0 < c_1 < c_2 < ... < c_k < ...$.

З використанням співвідношень (7) та (8) вихідна задача вихідної оптимізації трансформується до послідовності задач безумовної оптимізації, для рішення яких можна використовувати стандартні методи.

Стандартний метод множників Лагранжа, доповнений умовами, що витікають з теорії двоїстості, отримав своє узагальнення на задачі нелінійного програмування загального вигляду з обмеженнями типу рівностей та нерівностей [10].

Необхідні умови оптимальності таких задач мають назву умов Куна-Таккера. Для складання задач Куна-Таккера математична модель задачі нелінійного програмування повинна мати строго визначений вид запису обмежень-нерівностей:

$$Z = f(X) \to \min$$
$$\begin{cases} h_k(X) = 0, k = \overline{1,s} \\ g_i(X) \le 0, i = \overline{1,m} \end{cases}. \quad (9)$$

Умови ненегативності змінних включаються у запис задачі як обмеження – нерівності

$$g_j = -x_j \le 0 \,. \quad (10)$$

Функція Лагранжа задачі складається за допомогою $s+m$ невизначених коефіцієнтів

$$L(X,V,U) = f(X) + \sum_{k=1}^{s} V_k h_k(X) + \sum_{i=1}^{m} U_i g_i(X) \,. \quad (11)$$

Коефіцієнти V_k $(k = \overline{1,s})$, U_i $(i = \overline{1,m})$ називаються множниками Лагранжа. Вони являють собою необмежені за знаком двоїсті змінні, які відповідають обмеженням – рівностям $\left(V_k \begin{matrix} < \\ = \\ > \end{matrix} 0, k = \overline{1,s} \right)$ і ненегативні двоїсті змінні, які відповідають обмеженням-нерівностям $(U_i \ge 0, i = \overline{1,m})$.

Задачею Куна-Таккера для випадку мінімізації називається наступна система рівнянь з $n+s+m$ невідомими

$$\begin{cases} \vec{\nabla} f(X) + \sum_{k=1}^{s} V_k \vec{\nabla} h_k(X) + \sum_{i=1}^{m} U_i \vec{\nabla} g_i(X) = 0 \\ h_k(X) = 0, k = \overline{1,s} \\ g_i(X) \le 0, i = \overline{1,m} \\ U_i g_i(X) = 0, i = \overline{1,m} \\ U_i \ge 0, i = \overline{1,m} \end{cases}. \quad (12)$$

Рівняння $U_i g_i(X) = 0, i = \overline{1,m}$ є умовами доповнюючої нежорсткості, вони є аналогом другої теореми двоїстості задач лінійного програмування. Якщо в точці X обмеження $g_i(X)$ неактивне $(g_i(X) > 0)$, то $U_i = 0$, якщо ж $g_i(X)$ активне $(g_i(X) = 0)$, то $U_i > 0$.

Рішення задачі Куна-Таккера необхідно починати з аналізу саме цієї групи рівнянь, перебираючи послідовно усі можливі комбінації рівності нулю U_i або $g_i(X)$. Оптимальне рішення треба шукати серед точок, що задовольняють умовам Куна-Таккера (12). Складемо для вихідної задачі (1) задачу Куна-Таккера при лінійних обмеженнях-рівностях

$$\begin{cases} L_{пр(РБ)} - L_р = 0 \\ H^{ГП}_{Г\,(ДПБ)} = 0 \\ V^{ПГП}_{вых(ДХБ)} - 1{,}4 = 0 \end{cases}, \quad (13)$$

нелінійних обмеженнях-рівностях

$$\begin{aligned} & D_1 - f_{D_1}(V_0) = 0, \\ & E_1 - f_{E_1}(V_0) = 0, \\ & D_2 - f_{D_2}(V_0, I_1) = 0, \\ & E_2 - f_{E_2}(V_0, I_1) = 0, \\ & D_3 - f_{D_3}(V_0, I_1, I_2) = 0, \\ & E_3 - f_{E_3}(V_0, I_1, I_2) = 0, \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & D_{Z_x} - f_{D_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, ..., I_{Z_{x-1}}) = 0 \\ & E_{Z_x} - f_{E_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, ..., I_{Z_{x-1}}) = 0 \end{aligned} \quad . \quad (14)$$

лінійних обмеженнях-нерівностях

$$I_1^{\min} \le I_1 \le 50 \Rightarrow \begin{cases} I_1^{\min} - I_1 \le 0 \\ I_1 - 50 \le 0 \end{cases}$$

$$I_2^{\min} \le I_2 \le I_2^{\max} \Rightarrow \begin{cases} I_2^{\min} - I_2 \le 0 \\ I_2 - I_2^{\max} \le 0 \end{cases}$$

....

$$I_x^{min} \le I_x \le I_x^{max} \Rightarrow \begin{cases} I_x^{min} - I_x \le 0 \\ I_x - I_x^{max} \le 0 \end{cases}. \quad (15)$$

$$I_1 - I_2 - 25 \le 0$$

$$H_{Г(ДХБ)}^{ГП} - n_у h_{од} \le 0$$

$$V_{вх(ДХБ)}^{ГП} - V_{max} \le 0$$

$$T_0 - T_0^{max} \le 0$$

Функція Лагранжа має вигляд

$$\begin{aligned} L(I,V,U) = {} & A(B + (\sum_{j=1}^{Z_1}(G_j I_1 + D_j(E_j + F_j I_1)) + \\ & + \sum_{j=Z_1+1}^{Z_2}(G_j I_2 + D_j(E_j + F_j I_2)) + \ldots + \sum_{j=Z_{x-1}+1}^{Z_x}(G_j I_x + D_j(E_j + F_j I_x)))) + \\ & + V_1(L_{пр(РБ)} - L_р) + V_2 H_{Г(ДПБ)}^{ГП} + V_3(V_{вих(ДХБ)}^{ПГП} - 1{,}4) + V_4(D_1 - f_{D_1}(V_0)) + \\ & + V_5(E_1 - f_{E_1}(V_0)) + V_6(D_2 - f_{D_2}(V_0, I_1)) + V_7(E_2 - f_{E_2}(V_0, I_1)) + \\ & + V_8(D_3 - f_{D_3}(V_0, I_1, I_2)) + V_9(E_3 - f_{E_3}(V_0, I_1, I_2)) + \ldots + \\ & + V_{2Z_x+2}(D_{Z_x} - f_{D_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, \ldots, I_{Z_{x-1}})) + V_{2Z_x+3}(E_{Z_x} - f_{E_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, \ldots, I_{Z_{x-1}})) + \\ & + U_1(I_1^{min} - I_1) + U_2(I_1 - 50) + U_3(I_2^{min} - I_2) + U_4(I_2 - I_2^{max}) + \ldots + \\ & + U_{2x-1}(I_x^{min} - I_x) + U_{2x}(I_x - I_x^{max}) + U_{2x+1}(I_1 - I_2 - 25) + \\ & + U_{2x+2}(H_{Г(ДХБ)}^{ГП} - n_у h_{од}) + U_{2x+3}(V_{вх(ДХБ)}^{ГП} - V_{max}) + U_{2x+4}(T_0 - T_0^{max}) \end{aligned} \quad (16)$$

і умови

$$\text{I)} \quad \begin{aligned} & A\left(\sum_{j=1}^{Z_1}(G_j + D_j F_j)\right) - V_6\frac{\partial f_{D_2}}{\partial I_1} - V_7\frac{\partial f_{E_2}}{\partial I_1} - V_8\frac{\partial f_{D_3}}{\partial I_1} - \\ & - V_9\frac{\partial f_{E_3}}{\partial I_1} - \ldots - V_{2Z_x+2}\frac{\partial f_{D_{Z_x}}}{\partial I_1} - V_{2Z_x+3}\frac{\partial f_{E_{Z_x}}}{\partial I_1} - U_1 + U_2 + U_{2x+1} = 0; \\ & A\left(\sum_{j=Z_1+1}^{Z_2}(G_j + D_j F_j)\right) - V_8\frac{\partial f_{D_3}}{\partial I_2} - V_9\frac{\partial f_{E_3}}{\partial I_2} - \ldots - V_{2Z_x+2}\frac{\partial f_{D_{Z_x}}}{\partial I_2} - \\ & V_{2Z_x+3}\frac{\partial f_{E_{Z_x}}}{\partial I_2} - U_3 + U_4 - U_{2x+1} = 0; \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & A\left(\sum_{j=Z_{x-1}+1}^{Z_x}(G_j + D_j F_j)\right) - U_{2x-1} - U_{2x} = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

II) Часткові похідні по двоїстим змінним $\frac{\partial L}{\partial V_k}$ и $\frac{\partial L}{\partial U_i}$

$$\begin{aligned} & L_{пр(РБ)} - L_р = 0; \\ & H_{Г(ДПБ)}^{ГП} = 0; \\ & V_{вих(ДХБ)}^{ПГП} - 1{,}4 = 0; \\ & D_1 - f_{D_1}(V_0) = 0, \quad E_1 - f_{E_1}(V_0) = 0, \\ & D_2 - f_{D_2}(V_0, I_1) = 0, \quad E_2 - f_{D_2}(V_0, I_1) = 0, \\ & D_3 - f_{D_3}(V_0, I_1, I_2) = 0, \quad E_3 - f_{E_3}(V_0, I_1, I_2) = 0, \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & D_{Z_x} - f_{D_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, \ldots, I_{Z_{x-1}}) = 0, \\ & E_{Z_x} - f_{E_{Z_x}}(V_0, I_1, I_2, \ldots, I_{Z_{x-1}}) = 0; \\ & I_1^{min} - I_1 = 0; \quad I_1 - 50 = 0; \\ & I_2^{min} - I_2 = 0; \quad I_2 - I_2^{max} = 0; \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots \\ & I_x^{min} - I_x = 0; \quad I_x - I_x^{max} = 0; \quad I_1 - I_2 - 25 = 0; \\ & H_{Г(ДХБ)}^{ГП} - n_у h_{од} = 0; \quad V_{вх(ДХБ)}^{ГП} - V_{max} = 0; \quad T_0 - T_0^{max} = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

III) Умова доповнюючої нежорсткості (2-га теорема двоїстості)

$$\begin{aligned} & U_1\left(I_1^{min} - I_1\right) = 0; \\ & U_2\left(I_1 - 50\right) = 0; \\ & U_3\left(I_2^{min} - I_2\right) = 0; \\ & U_4\left(I_2 - I_2^{max}\right) = 0; \\ & \ldots\ldots\ldots; \\ & U_{2x-1}\left(I_x^{min} - I_x\right) = 0; \\ & U_{2x}\left(I_x - I_x^{max}\right) = 0; \\ & U_{2x+1}\left(I_1 - I_2 - 25\right) = 0; \\ & U_{2x+2}(H_{Г(ДХБ)}^{ГП} - n_у h_{од}) = 0; \\ & U_{2x+3}(V_{вх(ДХБ)}^{ГП} - V_{max}) = 0; \\ & U_{2x+4}\left(T_0 - T_0^{max}\right) = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{IV)} \quad U_i \ge 0. \quad (20)$$

Рішення необхідно починати з послідовного перебору усіх можливих комбінації рівності нулю множників групи III. Спочатку передбачаємо, що двоїсті змінні рівні нулю або йому не рівні: $U_i = 0 \ (\forall i)$, потім одне з $U_i = 0$, решта не рівні нулю, і так далі.

4. Висновки

Таким чином, запропонована вище методика комплексного розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок, дозволить отримати оптимальну потрібну потужність вагонних уповільнювачів, що, в свою чергу, дозволить привести у відповідність енерговитрати, якими супроводжується сортувальний процес, до розмірів переробки вагонів.

Література

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – Київ, 1998.
2. І.В. Берестов, О. М. Огар, О. Б. Ахієзер, М. Ю. Куценко. Математична модель для визначення оптимальних конструктивно - технологічних параметрів сортувальних гірок: Східно-Європейський журнал передових технологій, №1/6(37). – Х.:2009, с. 4-8.
3. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Муха Ю.А., Тишков Л.Б., Шейкин В.П. и др.- М.: Транспорт, 1994.- 220 с.
4. www.uz.gov.ua
5. І.В. Берестов, М.Ю. Куценко. Обґрунтування необхідності паспортизації сортувальних пристроїв залізниць України: Збірник наукових праць студентів і магістрів, вип. 65. – Х.: 2005, с. 113-115.

6. І. В. Берестов, М. Ю. Куценко. До питання розробки методики визначення комплексного показника характеристики конструктивно- технологічних параметрів пристроїв регулювання швидкості відчепів: Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті, №5, 6. – Х.:2006, с. 66 – 69.
7. І.В. Берестов, М.Ю. Куценко. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв: Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті, №2. – Х.:2007, с. 34 – 37.
8. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207-89/МПС СССР. М.: Транспорт, 1992, 104 с.
9. Огарь А. Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля: дисс. канд. техн. наук. – Харьков, 2002.
10. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. – Санкт-Петербург, 2007.– 958 с.

УДК 543.271.3

ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Обгрунтовані варіанти оптимізаціїї системного інтерфейсу газоаналітичних інформаційно-вимірювальних комплексів екологічних параметрів авіаційних двигунів. Проаналізовані функціональні можливості контролерів. Наведені конкретні технічні параметри контролерів і їх вплив на метрологічні характеристики інформаційно-вимірювальних компексів екологічних параметрів авіаційних двигунів

Я.О. Мельніков
Магістрант*
Ю.Г. Кобзар
Магістрант*
*Кафедра наукових, аналітичних, та екологічних приладів і систем
НТУУ «КПІ»
пр.Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03037
В.П. Приміський
Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Директор ТОВ „Автоекоприлад"
вул. Предславинська 39, м. Київ, 03150
Контактний тел.: (044) 521-64-04
E-mail : avtoeko@faust.net.ua

1. Вступ

Розвиток цивільної авіації в Україні пов'язаний зі значним зростанням об'ємів перевезень і кількості транзитних літаків, які перетинають українську територію по міжнародних авіаційних трасах, негативною стороною такого росту є підвищення впливу авіації на довкілля. до складу відпрацьованих газів газотурбін-