UOT 656.13.001

AVTOMOBİLİN BARABANLI TORMOZLARINDA TORMOZLAMA ZAMANI TEMPERATURUN HESABLANMA METODU

Əsgər Həbib oğlu Tağızadə
texnika elmləri doktoru, professor
Mingəçevir Dövlət Universiteti

Qaragöz Kərim oğlu Kərimov
Mingəçevir Dövlət Universiteti

Xülasə

Məqalə avtomobillərin barabanlı-qəlibli tormozlarında tormozlama prosesi zamanı temperaturun hesablanmasına həsr olunmuşdur. Avtomobilin tormozlanması zamanı barabanın üstlüklə kontaktda olan daxili səthində sürtünmə qüvvəsi təsirindən istilik mənbəyi yaranır. Məsələnin həllində kiçik parametr üsulundan istifadə edilmiş və temperaturun hesablanması üçün birinci yaxınlaşmada düstur alınmışdır.

***Açar sözlər**: tormoz barabanı**,** istilik keçirmə, bucaq sürəti, istilik keçirmə nəzəriyyəsinin tənliyi, sərhəd şərtləri, kiçik parametr, kontakt sahəsi, sürtünmə əmsalı, sıfırıncı yaxınlaşma, temperatur*

Avtomobilləşmənin müasir dövrdə sürətli inkişafı əhalinin nəqliyyat xidmətlərini yaxşılaşdırmaqla yanaşı bir sıra problemlər də yaradır. Bu problemlərdən biri də nəqliyyat vasitələrinin və yol hərəkətinin təhlükəsizliyinin təmin edilməsidir. Təhlükəsizliyin təmin edilməsində avtomobilin tormoz sisteminin böyük rolu vardır. Son dövrlərdə barabanlı-qəlibli tormozlar, əsasən, avtobuslarda və yük avtomobillərində işlədilir. Tormoz barabanında gərginliyin və deformasiyanın yaranmasının əsas səbəblərindən biri onun qeyri-bərabər qızmasıdır. Bu da tormozlama keyfiyyətini ciddi şəkildə aşağı salır və yol-nəqliyyat hadisəsinin baş verməsinə gətirib çıxarır. Nəzərə alsaq ki, yüksək sürətli tormozlama rejimi çox qısa müddət ərzində baş verir, məsələni sadələşdirmək məqsədilə tormoz barabanında qərarlaşmış istilik axını olduğunu qəbul edirik. Avtomobilin tormozlanması zamanı barabanın tormoz qəlibinin üstlüyü ilə kontaktda olan səthində xarici sürtünmə qüvvəsinin təsirindən yaranan istilik axını təsir edir. Bu qarşılıqlı təsirdən barabanda və üstlükdə temperatur yüksəlir.

Əgər tərpənməz fəza və eləcə də fırlanan barabana görə koordinat sistemini daxil etsək, onda daxil edilmiş sistemə görə temperatur sahəsi kvazistasionar olacaqdır. Hesab edək ki, ω – tormoz barabanının fırlanmasının tormozlama anında bucaq sürətidir. Onda barabanın ixtiyari nöqtəsinin çevrəvi istiqamətdə sürəti $V = \omega r$ olacaqdır.

Əgər koordinat sistemi barabana görə translyasiya yerdəyişməsinə məruz qalırsa, istilikkeçirmə tənliyi [3] dəyişəcəkdir. Baxılan halda $\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta}$ ifadəsi həmin istiqamətdə temperatur qradiyentini ifadə edəcəkdir. Fırlanma yerdəyişməsi yerinə yetirən koordinat sistemində istilikkeçirmə nəzəriyyəsinin tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\omega}{a}\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0 . \quad (1)$$

İstilikkeçirmə nəzəriyyəsi məsələsinin sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir:

$$\lambda\frac{\partial T}{\partial n} = -\,Q(\theta) \quad \text{– kontakt sahəsində;} \quad (2)$$

$$\lambda\frac{\partial T}{\partial n} - \alpha_1\,(T - T_c) = 0 \quad \text{– kontakt sahəsindən kənarda;} \quad (3)$$

$$\lambda\frac{\partial T}{\partial n} + \alpha_2\,(T - T_c) = 0 \quad \text{– barabanın xarici səthi üzərində,} \quad (4)$$

burada $T(\mathrm{r}, \theta)$ – temperatur funksiyası; λ – barabanın materialının istilik keçiriciliyi; α_1 – barabanın T_c temperaturlu daxili səthinin istilikkeçirmə əmsalı; n – barabanın konturuna normal; α_2 – barabanın silindrik xarici səthinin istilik keçirmə əmsalı; $Q(\theta)$ – barabana düşən istilik mənbəyinin intensivliyidir. Materialın istilikkeçirmə əmsallarının ox, çevrəvi və radial istiqamətlərdə eyni olduğu, koordinatlardan və temperaturdan asılı olmadığı qəbul edilmişdir.

$Q(\theta)$ funksiyası üçün yazmaq olar:

$$Q(\theta) = \alpha_{m,n,2}\omega\, R_b \cdot f \cdot \mathrm{g}(\theta)\ , \tag{5}$$

burada f – baraban-üstlük cütünün sürtünmə əmsalı; $\mathrm{g}(\theta)$ – kontakt təzyiqi; $\alpha_{m,n,2}$ – baraban üçün istilik axınının paylanması əmsalıdır.

Hesab edirik ki, barabanın daxili konturu dairəviyə yaxındır. Amma məlumdur ki, barabanın real səthi heç vaxt mütləq hamar olmur, emal prosesinin nəticəsi olaraq həmişə kələkötür olur. Avtomobil barabanının səthindəki mikrokələkötürlüklərin forma və ölçüləri kinematik sxemdən, emal üslundan, materialın mexaniki xassələrindən asılı olur. Mikrokələkötürlük əhəmiyyətli dərəcədə emal olunan materialın strukturu və onun gərgin vəziyyəti ilə təyin olunur.

R_b və R radiuslu L_0 və L konsentrik çevrələrin mərkəzində koordinat başlanğıcını seçərək, barabanı polyar koordinat sisteminə gətirək. Barabanın daxili səthinin kələkötürlüyünü nəzərdən keçirək. Kələ-kötürlüklərin ölçülərinin çox kiçik olmasına baxmayaraq, onlar səthə yaxın nöqtələrdə və sürtünmə səthlərinin istismar xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir [2].

Barabanın daxili konturunu aşağıdakı şəkildə ifadə edək:

$$\rho = R_b + \delta(\theta); \qquad \delta(\theta) = \varepsilon H(\theta), \tag{6}$$

burada ε – kiçik parametrdir [4], $\varepsilon = R_{max}/R_b$; R_{max} – profilin mikronahamarlığının ən böyük hündürlüyüdür.

Barabanda izafi temperatur aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$t = T - T_c\ .$$

Barabanda temperaturu kiçik parametrə görə sıraya ayırmarla axtarırıq:

$$t = t^{(0)} + \varepsilon t^{(1)} + \varepsilon^{(2)}\, t^{(2)} + \ldots\ , \tag{7}$$

burada kiçik parametrin birinci dərəcədən yuxarı toplananlarını nəzərə almırıq. $t^{(0)}$, $t^{(1)}$ – temperaturun sıfırıncı və birinci yaxınlaşmalarıdır. Bu yaxınlaşmaların hər biri istilikkeçirmənin diferensial tənliyini ödəyir.

$r = R_b$ ətrafında temperatur funksiyasını sıraya ayıraraq, $r = \rho(\theta)$ olduqda temperaturun toplananlarının qiymətlərini tapırıq:

$$\begin{aligned} t^{(0)}_{r=\rho} &= t^{(0)}_{\rho=R_b} + \frac{\partial t^{(0)}}{\partial r}\varepsilon H(\theta) + \ldots \\ t^{(1)}_{r=\rho} &= t^{(1)}_{\rho=R_b} + \frac{\partial t^{(1)}}{\partial r}\varepsilon H(\theta) + \ldots \end{aligned} \tag{8}$$

İstilikkeçirmə məsələsinin sərhəd şərtləri birinci tərtib dəqiqliklə aşağıdakı şəkildə olur:

-sıfırıncı yaxınlaşma üçün

$$\begin{aligned} &r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} = -Q^{(0)}(\theta) \text{ – kontakt sahəsində;} \\ &r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} - \alpha_1 t^{(0)} = 0 \text{ – kontakt sahəsində kənarda;} \\ &r = R \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} + \alpha_2 t^{(0)} = 0 \end{aligned} \tag{9}$$

- birinci yaxınlaşma üçün

$$\begin{aligned} &r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(1)}}{\partial r} = -\frac{\partial^2 t^{(0)}}{\partial r^2}\mathrm{H}(\theta) - \frac{Q^{(1)}}{\lambda} \text{ – kontakt sahəsində;} \\ &r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(1)}}{\partial r} - \alpha_1 t^{(1)} = \left[\alpha_1\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} - \lambda\frac{\partial^2 t^{(1)}}{\partial r^2}\right]\mathrm{H}(\theta) \text{ – kontakt sahəsində kənarda;} \\ &r = R \text{ olduqda } \lambda\frac{\partial t^{(1)}}{\partial r} + \alpha_2 t^{(1)} = 0. \end{aligned} \tag{10}$$

Hər bir yaxınlaşmada istilikkeçirmənin diferensial tənliyinin həllini,

$$t^{(0)}= \Phi^{(0)}(\theta)f^{(0)}(r)\ ; \quad t^{(1)}= \Phi^{(1)}(\theta)f^{(1)}(r) \qquad (11)$$

olduğunu qəbul edərək, dəyişənlərin ayrılması üsulu ilə axtarırıq, burada temperatur funksiyasının eyni qiymətli olması üçün $\Phi^{(0)}(\theta)$ və $\Phi^{(1)}(\theta)$ funksiyaları periodik olmalıdır. Hesab edirik ki, $\Phi^{(0)}(\theta)$ və $\Phi^{(1)}(\theta)$ funksiyaları Furye sırası şəklində verilmişdir.

$t^{(0)}$ temperatur funksiyasını Furye sırasına ayıraq:

$$t^{(0)}(r,\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f_n^{(0)}(r)e^{in\theta}, \qquad (12)$$

burada

$$f_n^{(0)}(r) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} t^{(0)}(r,\theta)e^{-in\theta}d\theta. \qquad (13)$$

$f_n^{(0)}(r)$ funksiyası üçün (1), (11) və (12) əsasən aşağıdakı diferensial tənliyi alırıq:

$$r^2 f_n^{(0)''} + r^2 f_n^{(0)'} + (\lambda_1 r^2 - n^2)\, f_n^{(0)} = 0, \qquad (14)$$

burada $\lambda_1 = \frac{in\omega}{a}$; $i = \sqrt{-1}$.

$f_n^{(0)}(r)$ funksiyası üçün alınmış tənlik Bessel tənliyidir. Bunun üçün $R_b \leq r \leq R$ oblastında ümumi həll aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$f_n^{(0)}(r) = C_{1n}^{(0)} J_n(\sqrt{\lambda, r}) + C_{2n}^{(0)} N_n(\sqrt{\lambda, r}), \qquad (15)$$

burada J_n – birincicins silindrik Bessel funksiyaları, N_n – Neyman funksiyaları [1], $C_{1n}^{(0)}, C_{2n}^{(0)}$ – inteqrallamanın ixtiyari sabitləridir. Bu sabitlərin təyin olunması üçün (9) sərhəd şərtlərindən və (12)-nin həllindən istifadə edərək və bir sıra çevirmələr apararaq tapırıq:

$$r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{df_n^{(0)}}{dr} = -\, q_n^{(0)} \text{ – kontakt sahəsində;}$$

$$r = R_b \text{ olduqda } \lambda\frac{df_n^{(0)}}{dr} - \alpha_1 f_n^{(0)} = 0 \text{ – kontakt sahəsindən kənarda;} \qquad (16)$$

$$r = R \text{ olduqda } \lambda\frac{df_n^{(0)}}{dr} + \alpha_2 f_n^{(0)} = 0,$$

burada $q_n^{(0)} = \alpha_{T.n2}\omega R_b f A_n$; $A_k = \frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{\theta} g^{(0)}(\theta)e^{-ik\theta}d(\theta)$ (k= 0, $\pm1, \pm2, \ldots$).

(16) sərhəd şərtlərini (15) funksiyaları ilə ödəyərək tapırıq:

$$\lambda[C_{1n}^{(0)} j_n'(\sqrt{\lambda_1}R_b) + C_{2n}^{(0)} N_n'\sqrt{\lambda_1 R_b})] - \alpha_1[C_{1n}^{(0)} J_n(\sqrt{\lambda_1}R_b) + C_{2n}^{(0)} N_n\sqrt{\lambda_1 R_b})] = -\, q_n^{(0)}, \qquad (17)$$

$$\lambda[C_{1n}^{(0)} j_n'(\sqrt{\lambda_1}R) + C_{2n}^{(0)} N_n'\sqrt{\lambda_1 R})] + \alpha_1[C_{1n}^{(0)} J_n(\sqrt{\lambda_1}R) + C_{2n}^{(0)} N_n\sqrt{\lambda_1})] = 0,$$

burada $\theta \leq \theta_0$ olduqda

$$q_n^{(0)} \neq 0,\ \alpha_1 = 0 \text{ – kontakt sahəsində;}$$

$$q_n^{(0)} = 0,\ \alpha_1 \neq 0 \text{ – kontakt sahəsindən kənarda.}$$

Məchul $C_{1n}^{(0)}$ və $C_{2n}^{(0)}$ sabitləri alınmış iki tənlikli (17) sistemini həll etməklə tapılır.

Temperatur funksiyasının sıfırıncı yaxınlaşmada ümumi ifadəsi aşağıdakı kimi alınır:

$$t^{(0)}(r,\theta) = \sum_{n=0}^{\infty}[F_n^{(0)}(r)\cos n\theta + M_n^{(0)}\sin n\theta], \qquad (18)$$

burada $F_n(r)$ və $M_n(r)$ funksiyaları $J_n(\sqrt{\lambda_1 r})$ və $N_n(\sqrt{\lambda_1 r})$ (15) funksiyalarının həqiqi və xəyali hissələri ilə ifadə olunur.

$t^{(0)}$ funksiyasını tapdıqdan sonra (10) sərhəd şərtinin sağ tərəfini $r = R_b$ olduqda tapırıq:

$$\frac{Q^{(1)}}{\lambda} + \frac{\partial^2 t^{(0)}}{\partial r^2} H(\theta) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} q_k^{(1)} e^{ik\theta}; \qquad (19)$$

$$\alpha_1\left[\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} - \lambda\frac{\partial^2 t^{(0)}}{\partial r^2}\right] H(\theta) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k^{(1)} e^{ik\theta}.$$

İndi məsələnin birinci yaxınlaşmada həllinin qurulmasına keçirik. $f_n^{(1)}(r)$ funksiyası üçün sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi olacaqdır:

$r = R_b$ olduqda $\lambda \frac{df_n^{(1)}}{dr} = - q_n^{(1)}$ – kontakt sahəsində;

$r = R_b$ olduqda $\lambda \frac{df_n^{(1)}}{dr} - \alpha_1 f_n^{(1)} = Q_k^{(1)}$ – kontakt sahəsindən kənarda; (20)

$r = R$ olduqda $\lambda \frac{df_n^{(1)}}{dr} + \alpha_2 f_n^{(1)} = 0.$

(1), (11) və (12) ifadələriinə əsasən $f_n^{(1)}(r)$ funksiyası üçün alırıq:

$$r^2 f_n^{(1)''} + r f_n^{(1)'} + (\lambda_1 r^2 - n^2)\, f_n^{(1)} = 0. \qquad (21)$$

$R_b \leq r \leq$ R oblastında onun ümumi həlli aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$f_n^{(1)}(r) = C_{1n}^{(1)} J_n(\sqrt{\lambda_1 r}) + C_{2n}^{(1)} N_n(\sqrt{\lambda_1 r}). \qquad (22)$$

(22) funksiyaları ilə (20) sərhəd şərtlərini ödəyərək, analoji olaraq, $C_{1n}^{(1)}$ və $C_{2n}^{(1)}$ sabitlərini tapırıq. Temperatur funksiyasının birinci yaxınlaşmada ümumi ifadəsini aşağıdakı şəkildə alırıq:

$$t^{(1)}(r,\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} [\, F_n^{(1)}(r)\, cos n\theta + M_n^{(1)}(r) \sin n\theta]. \qquad (23)$$

Alınmış düsturlar əsasında kiçik parametr ε -na görə birinci tərtib dəqiqliklə barabanın daxili səthində izafi temperatur aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$t_* = t_{r=\rho} = t_{r=R_b}^{(0)} + \frac{\partial t^{(0)}}{\partial r}\, \varepsilon\, H(\theta) + \varepsilon\, t_{r=R_b}^{(1)}. \qquad (24)$$

Beləliklə, hər bir barabanın əvvəlcədən emal olunmuş daxili səthinin məlum profili üçün alınmış düsturların köməyi ilə tormoz barabanının temperatur vəziyyətini tədqiq etmək olar.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Бейтмен Г., Эрдейн А. Высшие трансцендентные функции. СМБ, т.2, М.: Наука, 1974, 296 с.
2. Витенберг Ю.Р. Шероховатость поверхности и методы ее оценки. Л.: Судостроение, 1971, 106 с.
3. Паркус Г. Неустановившиеся температурные напряжения. М.: Физматгиз, 1963, 252с.
4. Тагизаде А.Г. Прямые и обратные задачи строительной механики пластин и оболочек переменной толщины: Дис. … докт. тех. наук, Москва (МИСИ), 1988, 377 с.

A.H.Tagizadeh
Doctor of Technics, Professor
Mingachevir State University

G.K.Karimov
Mingachevir State University

Braking on car drum brakes time temperature calculation method

Abstract

The article is devoted to the calculation of temperature during the braking process of drum-molded brakes of cars. During braking, a heat source is generated by the friction force on the inner surface of the drum in contact with the top. A small parametric method was used to solve the problem and a formula was obtained in the first approximation to calculate the temperature.

***Keywords**: brake drum, non-conductivity, angular velocity, equation of heat transfer theory, border conditions, small parameter, contact area, coefficient of friction, zero convergence, temperatur.*

А.Г.Тагизаде
доктор технических наук, профессор
Мингячевирский государственный университет

Г.К.Каримов
Мингячевирский государственный университет

Метод расчета температуры тормозного барабана при торможении автомобиля

Резюме

Статья посвящена расчету температуры в процессе торможения барабанных тормозов автомобилей. Во время торможения источник тепла создается силой трения на внутренней поверхности барабана, контактирующей с накладкой. Для решения задачи использовался метод малого параметра и в первом приближении получена формула для расчета температуры.

Ключевые слава: *тормозной барабан, теплопроводность, угловая скорость, уравнение теории теплопроводности, граничные условия, малый параметр, площадь контакта, коэффициент трения, нулевое приближение, температура*

Daxil olub: 15.10.2021