Zapiski

COMMUNICATIONS
DE L'INSTITUT DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET MÉCANIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE KHARKOFF ET DE LA SOCIÉTÉ MATHÉMATIQUE DE KHARKOFF

SÉRIE 4, t. XIII, fasc. 1

TOME PUBLIÉ À L'OCCASION DU JUBILÉ DE 130 ANS DE LA FONDATION DE L'UNIVERSITÉ DE KHARKOFF

НАРОДНИЙ КОМІСАРІАТ ОСВІТИ УСРР

Харківський Державний Університет

ЗАПИСКИ

НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ МАТЕМАТИКИ Й МЕХАНІКИ ТА ХАРКІВСЬКОГО МАТЕМАТИЧНОГО ТОВАРИСТВА

ЦЕЙ ТОМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ 130-РІЧНОМУ ЮВІЛЕЮ ХАРКІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ 4 ТОМ XIII ВИП. 1

ОНТИ ДЕРЖАВНЕ НАУКОВО ТЕХНІЧНЕ ВИДАВНИЦТВО УКРАЇНИ НКТП

Sur une propriété extrémale des polynomes de Tchebychef

EUGÈNE REMES (*Kiev*)

Etant donnés un intervalle (fermé) $S \equiv \langle a, b \rangle$ de longueur $b - a = l$ sur l'axe OX et deux nombres positifs $\lambda = \theta l (0 < \theta < 1)$ et k, nous considérons le problème suivant:[1])

Déterminer la borne supérieure exacte de la quantité [*variable avec* $P_n(x)$]

$$\max_{a \leq x \leq b} |P_n(x)| \tag{1}$$

$P_n(x)$ désignant un polynome de dergé $\leqslant n$ assujetti à la seule condition de vérifier l'inégalité

$$|P_n(x)| \leqslant k \tag{2}$$

sur un ensemble de points (d'ailleurs indéterminé) $E \subset S$ de mesure $\geqslant \lambda$.

Nous allons montrer que *la borne supérieure en question a pour valeur exacte*

$$M = kT_n\left(\frac{2l}{\lambda} - 1\right) = kT_n\left(\frac{2}{\theta} - 1\right), \tag{3}$$

où T_n est le *polynome trigonométrique* de degré n:

$$T_n(z) = \frac{1}{2}\{(z + \sqrt{z^2 - 1})^n + (z - \sqrt{z^2 - 1})^n\}. \tag{4}$$

D é m o n s t r a t i o n. D'abord, comme on le vérifie immédiatement la quantité (1) atteint exactement la valeur (3) pour les deux *polynomes de Tchebychef*

$$P_{n,1}(x) = kT_n\left(\frac{2x - a - (a + \lambda)}{\lambda}\right) \tag{5}$$

et

$$P_{n,2}(x) = kT_n\left(\frac{2x - (b - \lambda) - b}{\lambda}\right), \tag{6}$$

qui vérifient bien la condition (2), l'un sur l'intervalle $\langle a, a + \lambda \rangle$, l'autre sur l'intervalle $\langle b - \lambda, b \rangle$. Il reste à démontrer qu'entre tous les polynomes $P_n(x)$ admissibles les deux polynomes (5) et (6) sont *les seuls* (abstraction faite d'un facteur ± 1), pour lesquels la quantité (1) atteint la valeur (3).

Soit $P_n(x)$ un polynome *admissible* quelconque différent de (5) et (6); soit $E \subset S$ l'ensemble de points, sur lequel l'inégalité (2) est vérifiée. Cet ensemble de points se compose évidemment d'un certain nombre $\nu \leqslant n$ d'intervalles fermés dont quelques-uns peuvent se réduire à un point. Soient

$$\sigma_1 \equiv \langle \alpha_1, \beta_1 \rangle, \quad \sigma_2 \equiv \langle \alpha_2, \beta_2 \rangle, \ldots, \sigma_m \equiv \langle \alpha_m, \beta_m \rangle \tag{7}$$

---

[1]) L'auteur a rencontré ce problème au cours de ses recherches sur la convergence de certains procédés d'approximations successives qu'il a proposé récemment pour le calcul effectif des polynomes d'approximation minimum d'une fonction bornée $f(x)$ sur un ensemble de points pareillement borné (Cf. ma note, Comptes Rendus, Paris, 30. VII. 1934 et surtout ma monographie en langue ukrainienne: „Sur les méthodes pour réaliser la meilleure approximation des fonctions d'après le principe de Tchebychef". Acad. des Sc. d'Ukraine, 1935, pp. 99—100).

ceux d'entre eux ($m \leqslant \nu$) qui ont une longueur non nulle, arrangés par ordre d'abscisses croissantes. Soit ensuite $\xi \subset S$ un des points pour lesquels $|P_n(x)|$ acquiert sa valeur maximum sur l'intervalle $\langle a, b \rangle$:

$$|P_n(\xi)| = \max_{a \leq x \leq b} |P_n(x)|. \tag{8}$$

Il faut démontrer que $|P_n(\xi)| < M$, M désignant la valeur (3).
Ici trois cas sont à distinguer, suivant que

$$\xi > \beta_m, \quad \xi < \alpha_1 \text{ ou enfin } \beta_i < \xi < \alpha_{i+1} \tag{9}$$

i désignant dans le dernier cas un des nombres $1, 2, \ldots, m-1$.

Commençons par considérer *le premier cas*. Désignons par $x_1 = a, x_2, x_3, \ldots, x_{n+1} = a + \lambda$ les points de l'intervalle $\langle a, a+\lambda \rangle$, auxquels le polynome de Tchebychef (5) acquiert avec alternance de signe la valeur $\pm k$. Désignons, d'autre part, par $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_{n+1}$ les $n+1$ points que nous prendrons sur l'ensemble de points E sous les conditions suivantes: d'abord, $\bar{x}_1 = \alpha_1$; puis, pour $i = 2, 3, \ldots, n+1$ soit $\bar{x}_i$ le premier des points de E (en parcourant cet ensemble de points de gauche à droite) pour lequel

$$\text{mes}\,(\langle \bar{x}_1, \bar{x}_i \rangle \cdot E) = x_i - x_1 \tag{10}$$

le produit entre parenthèses désignant l'ensemble des points qui apprtiennent à la fois à l'intervalle $\langle x_1, x_i \rangle$ et à l'ensemble de points E.

En appliquant la formule d'interpolation de Lagrange, une fois au polynome (5) et l'autre fois au polynome $P_n(x)$, nous pourrons écrire les deux égalités suivantes:

$$M = P_{n,1}(b) = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{(b-x_1)\ldots(b-x_{i-1})(b-x_{i+1})\ldots(b-x_{n+1})}{(x_i-x_1)\ldots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\ldots(x_i-x_{n+1})} P_{n,1}(x_i) \tag{11}$$

$$P_n(\xi) = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{(\xi-\bar{x}_1)\ldots(\xi-\bar{x}_{i-1})(\xi-\bar{x}_{i+1})\ldots(\xi-\bar{x}_{n+1})}{(\bar{x}_i-\bar{x}_1)\ldots(\bar{x}_i-\bar{x}_{i-1})(\bar{x}_i-\bar{x}_{i+1})\ldots(\bar{x}_i-\bar{x}_{n+1})} P_n(\bar{x}_i) \tag{12}$$

En comparant leurs parties droites terme à terme, on constate les relations suivantes:

α) $\quad |P_{n,1}(x_i)| = k; \quad |P_n(\bar{x}_i)| \leqslant k$

β) $\quad b - x_j \geqslant \xi - \bar{x}_j \geqslant 0$

γ) $\quad |x_i - x_j| \leqslant |\bar{x}_i - \bar{x}_j|$

$$(i, j = 1, 2, \ldots, n+1;\ j \neq i).$$

En outre, on voit aisément que les $n+1$ termes à la dernière partie de (11) *ont tous le même signe* (à savoir $+$), ce qui ne doit pas avoir lieu forcément dans (12). Ainsi on aura bien

$$|P_n(\xi)| < M$$

à moins que $P_n(x)$ ne soit identique à $\pm P_{n,1}(x)$.

Dans le *second cas* (9), c'est à dire lorsque $\xi < \alpha_1$, le raisonnement est tout-à-fait analogue, en remplaçant le polynome (5) par (6).

Enfin lorsqu'on a dans (9)

$$\beta_i < \xi < \alpha_{i+1} \tag{14}$$

posons:

$$\frac{\text{mes}\,(\langle a, \xi \rangle \cdot E)}{\xi - a} = \theta_1 \tag{15}$$

$$\frac{\text{mes}\,(\langle \xi, b \rangle \cdot E)}{b - \xi} = \theta_2. \tag{16}$$

Il est clair que les deux nombres θ_1 et θ_2 ne peuvent être *à la fois* moindres à $\theta = \frac{\lambda}{l}$. Or, en remplaçant dans les raisonnements précédents l'intervalle $\langle a, b \rangle$ une fois par $\langle a, \xi \rangle$ et l'autre fois par $\langle \xi, b \rangle$, on a *simultanément*

$$\left.\begin{aligned} |P_n(\xi)| &< kT_n\left(\frac{2}{\theta_1} - 1\right) \\ |P_n(\xi)| &< kT_n\left(\frac{2}{\theta_2} - 1\right) \end{aligned}\right\} \tag{17}$$

et *une* des parties droites est certainement $\leqslant M$, ce qui achève la démonstration.

Nous avons obtenu simultanément une démonstration simple d'un théorème connu dû à *Tchebychef*,[1]) qui découle de nos raisonnements lorsqu'on restreint *a priori* le champ des polynomes admissibles[2]).

Про одну екстремальну властивість Чебишовських поліномів

Е. РЕМЕЗ (*Київ*)

РЕЗЮМЕ

В статті доведено таку теорему:
Якщо поліном n-го степеня $P_n(x)$ задовольняє умову

$$|P_n(x)| \leqslant k,$$

коли x належить точковій множині E із інтервалу $\langle a, b \rangle$, причому mes $E = \theta(b-a)$, де $0 < \theta < 1$, то

$$\max_{a \leq x \leq b} |P_n(x)| \leqslant kT_n\left(\frac{2}{\theta} - 1\right)$$

і знак рівності буде лише тоді, коли

$$E = \langle a, a + \theta(b-a) \rangle$$

або

$$E = \langle b - \theta(b-a), b \rangle,$$

а поліном $P_n(x)$ відповідно дорівнює

$$P_{n,1}(x) = \pm kT_n\left(\frac{2x - a - a - \theta(b-a)}{\theta(b-a)}\right)$$

або

$$P_{n,2}(x) = \pm kT_n\left(\frac{2x - b + \theta(b-a) - b}{\theta(b-a)}\right).$$

[1]) *P. L. Tchebychef*, „Sur les fonctions qui s'écartent peu de zéro pour certaines valeurs de la variable". Oeuvres, tome 2, pp. 335—356.

[2]) A savoir, en posant *à priori* $E = \langle a, a+\lambda \rangle$ ou bien $E = \langle b-\lambda, b \rangle$.