

LA STABILITE DES MATIERES GRANULEUSES SUR LES COUVERTURES DES CHEMINS

Alexandre V. Smirnov et Vassily I. Méchtchéryakov

L'académie Sibérienne d'Etat d'Automobiles et des Chemins
5, l'avenue Mira, Omsk, 644080, Russie
Téléphone / fax (3812) 650-755,
E-mail : vmikhailov@sibadi.omsk.ru

1. Résumé

Dans la pratique de l'exploitation des chemins dans les pays du nord l'influence du climat et des précipitations intenses peut amener à l'engivrement complet des couvertures. Les cas des graves accidents sur les chemins avec les conséquences lourdes causés par la perte de la liaison avec le chemin et la commande des automobiles sont connus. C'est pourquoi la reconstitution rapide de liaison de la roue avec la surface de la glace est un problème très actuel. La formation de la couche rugueuse, composée de la glace et des pierres fins, au moment de la formation de la glace sur la couverture est encore plus importante. La matière de friction est bien fondue dans la couche neigeuse, mais sur la couche glaciale les grain particuliers dans l'état froid ne sont pas accrochés à la glace et sont jetés vite de la chaussée. Une technologie de la distribution des pierres fins chaudes sur la couche de glace et de neige est connue (Suède. Les documents du X^{ème} Congrès International de la Viabilité Hivernale, 1998). La fonte de la glace et la congélation suivante des pierres fins assurent leur fixation et la création d'un tapis rugueux sur la chaussée.

Cependant, pour développer cette technologie nous devons répondre aux questions suivants :

- Quelles sont les conditions de la stabilité des grains de la forme diverse dans la couche glaciale contre l'arrachement par les roues des automobiles ?
- Quelles dimensions des grains sont rationnelles pour appliquer, en quelle profondeur doivent ils être congeler et en quelle quantité ?

Les réponses a ces questions sont nécessaires pour garantir la sécurité du trafic sur des chemins glacés en hiver.

2. Exposé complet

Les réponses a ces questions sont possibles par voie du modelage physique de la conduite du grain, gelé dans la couche glaciale, sur qui la force verticale et horizontale et leurs impulsions agient, obtenant des équations de la stabilité et la solution de ceux-ci aux conditions réelles de frontière. En raison de cela, nous ferons une série d'admissions : les grains minéraux sont élastiques, sont impondérables et ont les surfaces lisses. Les formes des grains sont le globe, la pyramide et arbitraire. Il est évident, que la meilleur stabilité est possédée par la pyramide s'inscrivant en globe avec le diamètre d , la plus mauvaise – par le globe. La forme arbitraire (accidentelle) des grains occupe la position intermédiaire de la stabilité. Chaque grain est exposé a l'influence des impulsions multiples des forces normales et tangentes, étant la concentration et les composants des impulsions des tensions inclinés de la charge de roue. Chaque grain est plongé à la couche glaciale, caractérisée par la résistance au détachement et à la compression, et par l'épaisseur $0 \leq hn \leq d$. La résistance des grains est incommensurablement plus haute que la résistance de la couche, la déformabilité est plus bas. C'est pourquoi la perte de la stabilité se passe seulement dans le résultat du détachement du grain de la couche glaciale, le tournant etc. sans sa destruction.

La charge fonctionnant sur le grain, résulte de la concentration de la charge régulièrement distribuée q_x et τ_y sur le terrain pour le grain-globe – $\frac{\pi d^2}{4}$, et pour le grain-pyramide avec des facettes isométriques – $\frac{d^2}{2}$. Il est naturel, que cette condition soit acceptable seulement au contact des grains, i.e. au rangement dense à une série. C'est pourquoi pour le globe :

$$P = q_x \cdot \frac{\pi d^2}{4}, Q = \tau_y \cdot \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

mais pour la pyramide :

$$P = q_x \cdot \frac{d^2}{4}, Q = \tau_y \cdot \frac{d^2}{4} \quad (2)$$

Les valeurs réelles q_x et τ_y peuvent atteindre pour les automobiles 0,15 - 0,2 mPa et 0,05 - 0,1 mPa, et pour les camions – 0,6 - 0,65 mPa et 0,2 - 0,3 mPa. La durée de l'action des charges concentrées P et Q est équivalente au temps du passage de la roue à la vitesse V de la voie équivalente à la longueur du son contact avec la surface de roulement, i.e. $\frac{B_k}{v}$. C'est pourquoi les impulsions des forces normal et tangentes feront pour le grain sphérique :

$$j_p = q_x \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{B_k}{V}, \quad (3)$$

$$j_Q = \tau_y \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{B_k}{V}, \quad (4)$$

mais pour le grain-pyramide :

$$j_p = q_x \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{B_k}{V}, \quad (5)$$

$$j_Q = \tau_y \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{B_k}{V}. \quad (6)$$

Les impulsions combinées des forces agissent inclinément vers l'axe horizontal sous l'angle $\gamma \geq 0^\circ$ ($\text{tg } \gamma = \frac{Q}{P}$), et dans le régime du freinage à la longueur B_k et τ_y peuvent changer le signe.

Sur le grain pyramidal les impulsions des forces agissent sur son sommet selon les formules 3 et 4, mais sur le grain-globe l'impulsion tangente des forces agira plus bas que le point supérieur du globe à la distance $\frac{W}{2}$. W est défini du problème sur la pression du globe rigide au semi-espace élastique selon la formule :

$$W = \sqrt[3]{\frac{9}{8} \cdot \frac{P^2 (1 - \mu_0^2)^2}{dE_0^2}}, \quad (7)$$

où E_0 et μ_0 sont le module de l'élasticité et le coefficient de Poisson du semi-espace élastique (la matière de la roue pneumatique). Si au rang des grains sphérique avec le diamètre d_l il y a au moins un grain avec le diamètre d , pour sa surface par dessus la force P est distribuée selon le segment sphérique du rayon $\frac{B_0}{2}$, équivalent :

$$\frac{B_0}{2} = \sqrt[3]{\frac{3}{8} \cdot \frac{Pd(1-\mu_0)^2}{E_0}} \quad (8)$$

Il est évident, qu'à la distance r du centre de l'application de la charge P la roue pneumatique touchera la surface du globe du plus petit diamètre d , qui sera défini de la condition :

$$d-d_1=W_r \quad (9)$$

La profondeur de la pression du globe-grain rigide au caoutchouc de la roue à la distance r du centre de l'application de la charge sera définie du problème du chargement du semi-espace linéairement déformable:

$$W_r = W \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{B}{2r} \quad (10)$$

En satisfaisant à la condition (9) par itérations nous recevrons l'augmentation relative de la charge du grain $\frac{P^*}{P}$ en fonction de d/d_1 , qu'illustre la concentration des forces sur le grain du diamètre plus grand.

La Dependance De La Concentration Relative Des Forces Sur Les Grain Des Dimensions Differentes

La table 1

| d, cm | d_1, cm | d/d_1 | d/d_1 | r, cm | P^*/P |
|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| 1,2 | 0,4 | 3 | 0,8 | 1,58 | 6,93 |
| | 0,8 | 1,5 | 0,4 | 1,0 | 2,77 |
| | 1,2 | 1,0 | 0 | 0,6 | 1,0 |
| 0,8 | 0,4 | 2,0 | 0,4 | 0,77 | 3,71 |
| | 0,8 | 1,0 | 0 | 0,4 | 1,0 |
| 0,6 | 0,4 | 1,5 | 0,2 | 0,49 | 267 |
| | 0,6 | 1,0 | 0 | 0,3 | 1,0 |

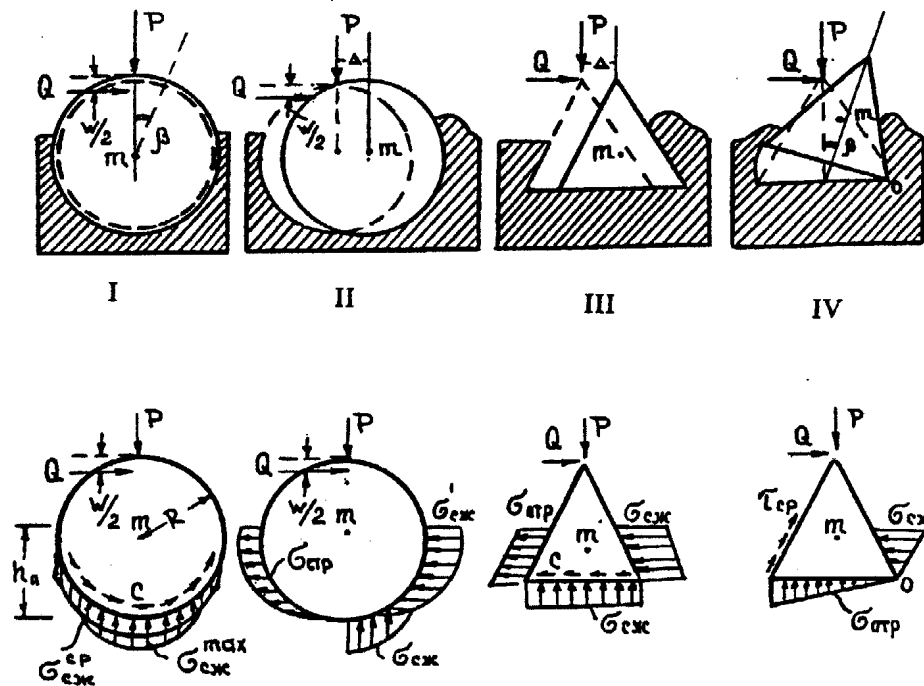


Fig. 1 : Les schémas de la perte de la stabilité et les diagrammes de calcul, leur correspondant
 I - Le tournant du globe dans la couche avec glissement;
 II - Le déplacement horizontal du globe;
 III - Le déplacement horizontal de la pyramide;
 IV - Le tournant de la pyramide autour de la côte de la base.

Maintenant nous examinerons les schémas principaux probables de la perte de la stabilité de la position des grains dans la couche glaciaire (fig. 1) et les diagrammes de calcul, leur correspondant. Il est évident, que si la résistance de la matière de la couche au cisaillement est petite, le schéma I sera probable pour le globe. Si les résistances à la compression et à la rupture sont petites, les schémas II et III seront probables pour le globe et la pyramide. Enfin, si la résistance à la rupture est petite, mais à la compression est grande, le schéma IV sera probable pour le grain-pyramide. La stabilité pour les schémas divers de sa perte est caractérisée par la valeur du facteur de sécurité représentant la relation des moments des forces, les forces retenant et renversant, ou les forces retenant le grain dans la couche glaciaire vers les forces déplaçant. Les modèles mathématiques des facteurs de sécurité sont donnés dans la table 2.

La table 2

| La forme du grain | Le schéma de la perte de la stabilité | Le modèle mathématique des facteurs de sécurité de la stabilité |
|-------------------|---|--|
| Le globe | Le tournant du globe dans la couche avec glissement | $K_3 = \frac{R_{\text{cisaillement}} \cdot \pi h n (2d - hn) d}{Q(d - w)} \dots\dots\dots 11$ |
| Le globe | Le déplacement horizontal du globe | $K_3 = \frac{[R_{\text{compr.}} + R_{\text{rupture}}] \pi d \cdot hn (2d - hn)}{2Q(d - w)} \dots\dots\dots 12$ |

| La forme du grain | Le schéma de la perte de la stabilité | Le modèle mathématique des facteurs de sécurité de la stabilité |
|-------------------|---|---|
| La pyramide | Le déplacement horizontal de la pyramide | $K_3 = \frac{4Q}{2hn \cdot d \cdot \sqrt{3(R_{\text{compr.}} + R_{\text{rupture}})} + 3d^2 \cdot R_{\text{cisail.}}} \dots\dots 13$ |
| La pyramide | Le tournant de la pyramide autour de la côte de la base | $K_3 = \frac{3Q}{[2hn \cdot \sqrt{3(R_s + R_{\text{comr.}})} + 3d \cdot R_{\text{rupture}} - P\sqrt{3}]} \dots\dots 14$ |

Si $K_3 > 1$, la stabilité de la position est assurée. Si $K_3 \leq 1$, la stabilité est limitée ou manque. Admettons que, dans les comptes $q_x = 0,6 \text{ mPa}$, $\tau_y = 0,3 \text{ mPa}$, $E_0 = 9450 \text{ mPa}$, $\mu_0 = 0,34^{**}$, $d = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ et $1,2 \text{ cm}$, la résistance de la glace à la compression, à la traction, au cisaillement et à la flexion à la température $0 \div -2^\circ\text{C}$ sont $1,6 \text{ mPa}$, $1,0 \text{ mPa}$, $0,6 \text{ mPa}$ et $0,4 \text{ mPa}^{**}$.

Les résultats des calculs du facteur de sécurité de la stabilité donnée sur fig. 2 et 3 permettent de faire les conclusions suivantes :

1. Pour le grain de la forme sphérique est plus probable la perte de la stabilité par voie du tournant dans la couche glaciaire, mais pour la forme pyramidale – le tournant autour de la côte de la base.
2. Congélation des grains de n'importe quelle forme dans la couche glaciaire à la profondeur $0,6 \div 0,8$ de leur diamètre augmente la stabilité 4 fois.
3. Les grains pyramidaux et sphériques avec le diamètre de 12 mm , plongés dans la glace à la profondeur $7 \div 8 \text{ mm}$ assurent le passage des $25 \div 30$ essieux des automobiles (jusqu'à 100 kN pour un essieu), mais les grains avec le diamètre $4 \div 6 \text{ mm}$ assurent le passage seulement des $2 \div 10$ essieux.
4. La dépense des grains en pierre, plongés dans la glace et assurant le passage du transport automobile et l'intégrité de la couche glaciaire du parcellement, doit être pour les fractions $1,2; 1,0; 0,6$ et $0,4 \text{ cm}$ pas moins que $1,6; 1,0; 0,8$ et $0,5 \text{ kg} / \text{m}^2$.

Il faut utiliser ces conclusions pour le perfectionnement de la technologie suédoise de la garantie de sécurité extraordinaire du trafic sur les couvertures glaciaires.

** Bogoroditsky V.V et autres. Physique de la glace douce. – Leningrad: Hydrométéoizdat, 1971.

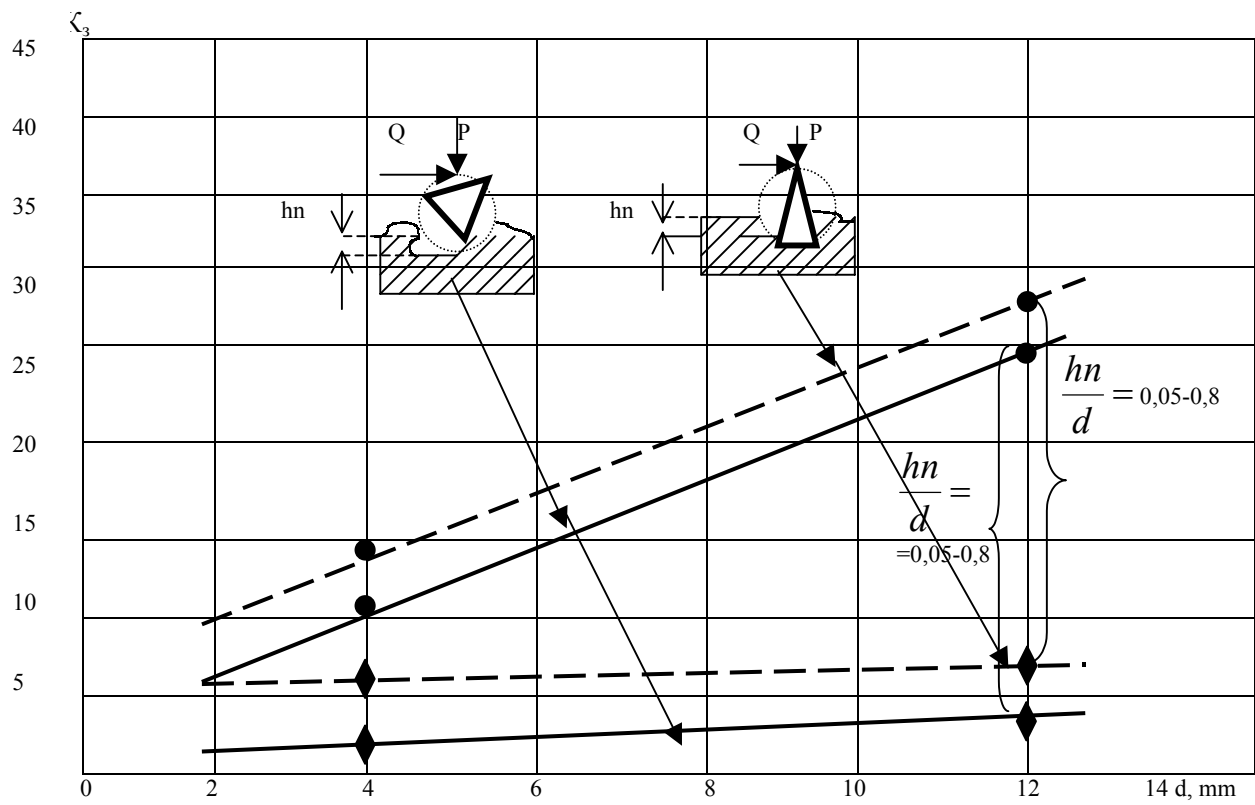


Fig. 2 : La dependance du facteur de sécurité de la stabilité des grains pyramidaux dans la couche glaciale du diamètre du globe

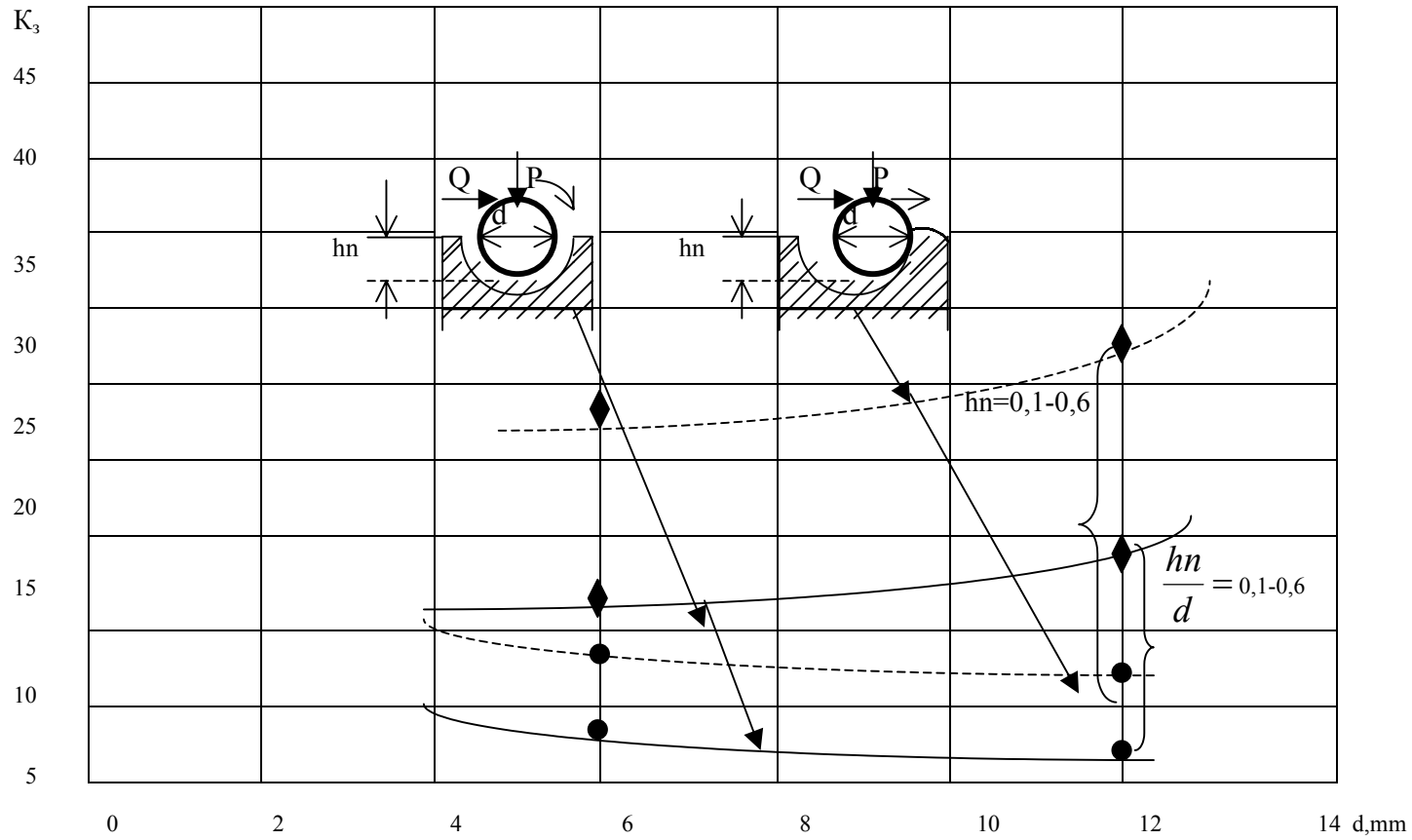


Fig. 3 : La dependance du facteur de sécurité de la stabilité des grains sphériques dans la couche glaciale du diamètre du globe