



УДК 622.232.5.05

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ ТИСКІВ ВЗАЄМОДІЇ ФОРМУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРОХІДНИЦЬКОГО ЩИТА З ОБРОБЛЮВАНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ**

Ловейкін В.С., д.т.н.,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел.: (044) 527-82-99

Шевчук С. П., д.т.н.,

Зайченко С. В., к.т.н.

*Національний технічний університет "КПІ"*

**Анотація** - У статті розглядаються процеси створення тунелю машини ТВМ типу. Розкрито закономірності зміни нормальних і дотичних контактних тисків між роликівими робочими органами та пластичним середовищем.

**Ключові слова** – роликовий робочий орган, прохідницький щит, контактний тиск.

*Актуальність проблеми.* У зв'язку зі збільшенням чисельності населення великих міст, попиту і вартості земельних ділянок, єдиним можливим рішенням при розв'язанні транспортних і комунікаційних завдань сучасного міста є будівництво підземних транспортних тунелів і колекторів механізованими роторними щитами, в основу яких закладені нові технологічні схеми будівництва. Одним з можливих шляхів підвищення ефективності застосування роторних механізованих щитів є заміна існуючого методу нагнітання піщаного розчину за трубний простір, шляхом застосування роликового методу формування при ущільненні затрубного простору.

*Стан питання.* Технологічні схеми, в основу яких покладений принцип укочування відрізняються великою кількістю конструкцій машин, зумовлений їх технологічним призначенням, особливістю взаємодії з середовищем і фізико-механічними властивостями середовища[1, 2].

Разом з цим, можливо визначити дві окремі самостійні технології ущільнення за формою утворених елементів конструкції: плоскі і циліндричні. Прикладом застосування роликового формування з утворенням плоскої поверхні є виробництво дорожніх

плит. У випадку формування масиву при виготовленні тунельного кріплення ми маємо випадок роликового формування циліндричної конструкції[3].

Для створення прохідницьких щитів, які дозволяють реалізувати схему роликового формування затрубного простору необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження процесів контактної взаємодії роликів робочих органів з оброблюваним середовищем.

*Мета роботи.* Визначити контактні тиски взаємодії роликів робочих органів з оброблюваним середовищем при формуванні затрубного простору тунелю з урахуванням геометричних параметрів процесу формування трибологічних і деформаційних властивостей оброблюваного середовища, що дозволяє з високою точністю визначити основні енергосилові параметри процесу ущільнення за обраною технологічною схемою.

*Викладення основного матеріалу.* Стан суміші змінюється з часом під впливом циклічних навантажень, які створюють роликові формуючі робочі органи. Процес дії циклічних навантажень на оброблюване середовище супроводжується виникненням необоротної і оборотної деформації навантаження. Оборотна деформація зникає після дії робочого органу, обернена - залишається. Аналіз діаграм деформації оброблюваного середовища під дією навантажень на основі гірських порід із в'язким свідчить про те, що середовище більшою частиною проявляє свої пластичні властивості [4, 5].

Процес роликового формування суміші супроводжується циклічними повторними навантаженнями оброблюваного середовища. Повторні навантаження суміші призводять до ущільнення суміші при цьому відбувається зменшення пружної складової деформації.

Для опису властивостей середовища, враховуючи вище сказане, можливо запропонувати жорстко пластичну модель середовища:

$$\tau_s = tg \varphi_{тер} \cdot p_x + \tau_0, \quad (1)$$

де  $\tau_s$  – граничний опір зсуву;  $\varphi_{тер}$  – кут внутрішнього тертя;  $p_x$  – нормальний тиск;  $\tau_0$  – початковий граничний дотичний тиск.

При роликовому формуванні в результаті його ущільнення відбувається зміцнення матеріалу. Завдяки цьому відбувається ріст величини  $\tau_0$ . Причиною цієї зміни є порушення первинної структури бетонної суміші. В залежності від характеру тиску, ці порушення зв'язані або з ущільненням суміші, зменшенням пор і збільшенням поверхні контакту зерен, або з утворенням в суміші тріщин. Для кожного моменту ущільнення граничний опір зсуву  $\tau_s$  від нормального тиску  $p_x$  буде змінюватись. В процесі ущільнення суміш

змінює значення початкового граничного опору зсуву тиску  $\tau_0$ . Мінімальне значення  $\tau_0$  має рихла суміш, а максимальне значення – після  $n$  проходів роликів. Інтенсивність процесу ущільнення суміші пов'язана з ростом контактних тисків, які виникають у середовищі під час формування. Оскільки при контактній взаємодії роликів робочих органів існує максимальне значення контактної тиску, яке відповідає нейтральній точці, то зона максимального ущільнення суміші знаходиться також в даній точці. Таким чином можливо стверджувати, що початковий граничний опір зсуву набуде свого максимального значення у нейтральній точці контактної взаємодії.

Тому для роликового формування було запропоновано, що початковий граничний опір зсуву  $\tau_0$  змінюється по дузі захвату лінійно від мінімального насипного значення  $\tau_{нас}$  до максимального значення дотичного тиску відформованого виробу  $\tau_{вир}$

$$\tau_0 = \frac{\tau_{нас} - \tau_{вир}}{\varphi - \gamma_n} (\varphi_x - \gamma_n) + \tau_{вир}. \quad (2)$$

З урахуванням виразу (2) рівняння для граничного опору зсуву  $\tau_s$  набуває вигляду

$$\tau_s = tg \varphi_{мер} \cdot P_x + \frac{\tau_{нас} - \tau_{вир}}{\varphi - \gamma} (\varphi_x - \gamma) + \tau_{вир}. \quad (3)$$

Для зони відставання (II) також характерне незначне ущільнення суміші, але даним незначним приращенням початкового граничного опору зсуву можливо знехтувати. Для зони відставання (II) модель середовища набуває вигляду

$$\tau_s = tg \varphi_{мер} \cdot P_x + \tau_{вир}$$

На рис. 1 приведено орієнтовну картину розподілу граничного опору зсуву по дузі захвату.

Головним питанням при створенні формуючих машин є визначення зусиль взаємодії робочих органів з оброблюваним середовищем, з врахуванням всієї сукупності параметрів, які характеризують процес ущільнення. Визначення зусиль взаємодії робочих органів машин з середовищем можливе лише за умов врахування фізичних явищ, які визначають характер і інтенсивність тисків в контактній зоні. При взаємодії роликів робочих органів з оброблюваним середовищем відбувається складне навантаження і розвантаження середовища, яке супроводжується пружно-пластичними деформаціями. При цьому слід відмити різний характер поведінки суміші, як по дузі контакту робочого органу, так і по його довжині. Суміш в рихлому (насипному) стані на початку взаємодії і під час ущільнення веде себе, як жорсткопластичне тіло, а після розвантаження як пружне. Також при навантаженні суміш

намагається рухатись з зони максимального тиску, в зони з низьким тиском. При цьому відбувається проковзування суміші по поверхні робочого органу.

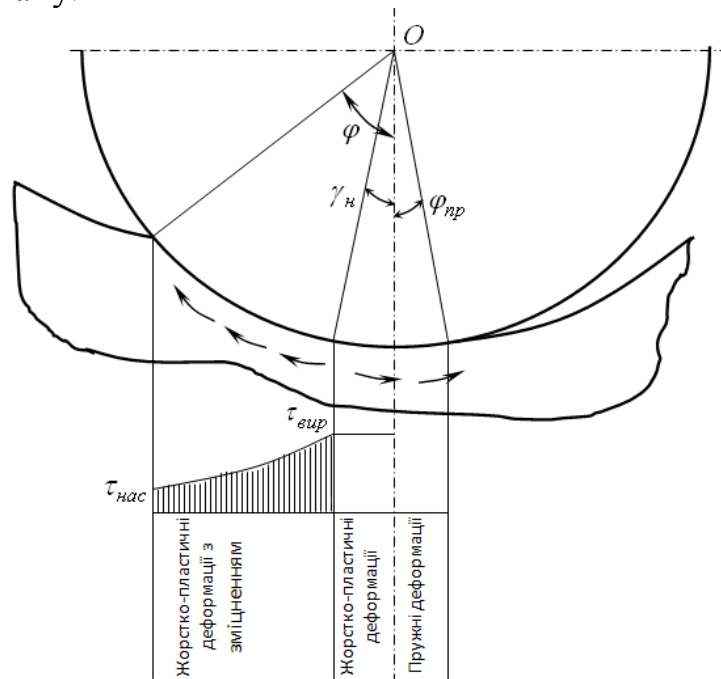


Рис. 1. Деформації при роликовому формуванні.

Таким чином процес контактної взаємодії робочого органу з оброблюваним середовищем можливо розбити на три зони: перша (I) – зона жорсткопластичних деформації з проковзуванням суміші направленим по ходу руху ролика; друга (II) – зона жорсткопластичних деформацій з проковзуванням суміші протилежним напрямком руху відносно напрямку руху ролика; третя (III) – зона пружного відновлення суміші з проковзуванням суміші протилежним напрямком руху відносно напрямку руху ролика (рис. 2). При поділі дуги взаємодії робочого органу з середовищем перша і третя зона складають кут  $\alpha$  - кут захвату суміші, їх поділ характеризує кут  $\gamma_n$  - нейтральний кут, при якому дотичні сили  $\tau_x$  змінюють напрямок. Нейтральний переріз ділить зону деформації на зони відставання і випередження.

Процес роликового формування забезпечується наявністю сил тертя, які діють між поверхнями валків і будівельною сумішшю (рис. 1). Суміш в результаті взаємодії з роликом розподіляється на дві частини: першу, яка потрапляє під впливом сил тертя під ролик, і другу, яка не захватується роликом і зсувається у напрямку руху ролика. Для визначення контактних тисків розглянемо умови рівноваги елементарного стовпчика суміші шириною  $dx$ , який обмежений поверхнями ролика і вироблення. При цьому врахуємо, що контактні тиски можливо представити у вигляді двох складових

нормальної  $p$  і дотичної  $\tau$ . Оскільки дотична складова  $\tau$  викликана силами тертя, її значення можливо знайти за наступним виразом[6]:

$$\tau = \mu p ,$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя середовища з контактуємою поверхнею, для умов взаємодії з роликком  $\mu$ , для умов взаємодії з поверхнею виробки  $\mu_g$ .

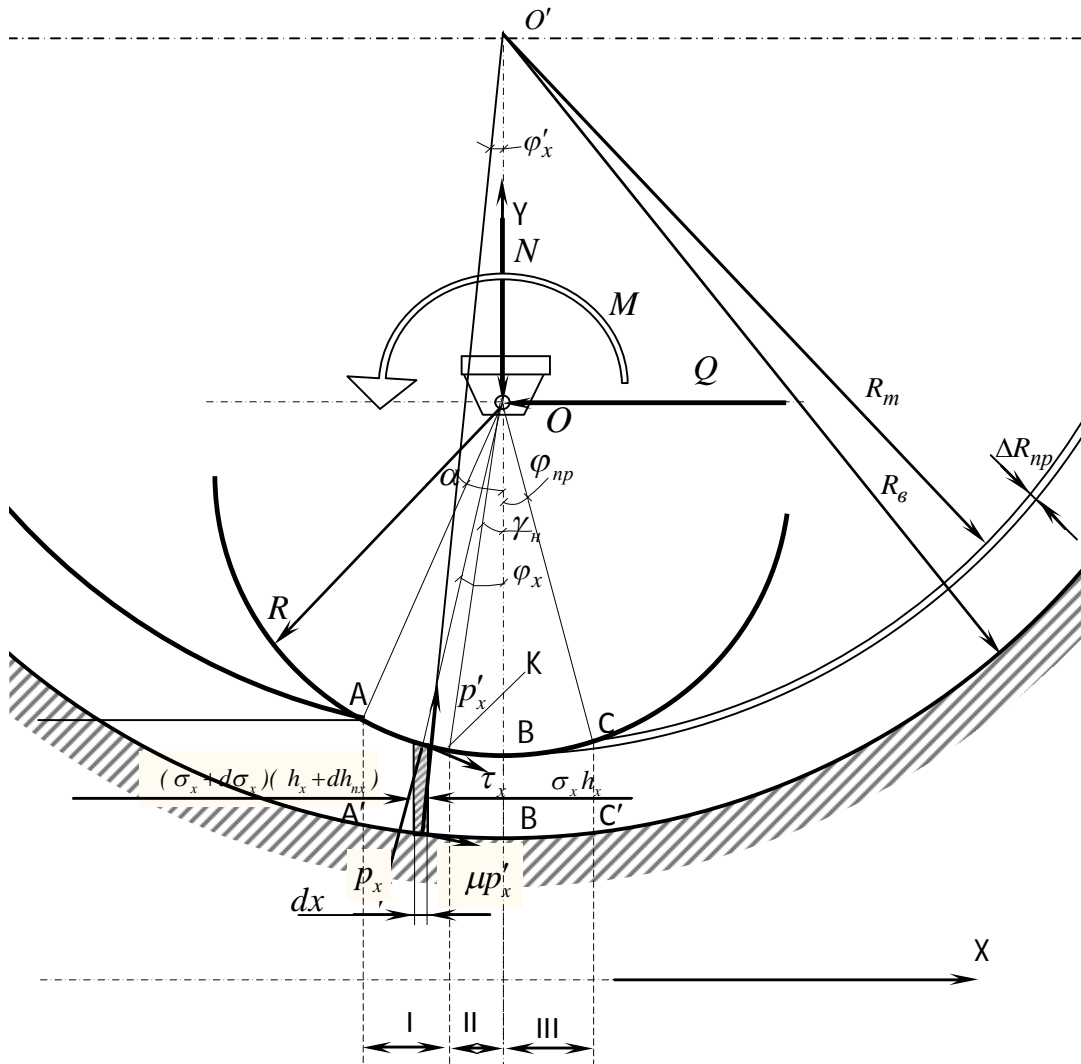


Рис. 2. Моделювання взаємодії циліндричного робочого органу з шаром суміші.

Використаємо умови пластичності для двовірної деформації [7, 8]

$$\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 = \tau_s^2 .$$

Приймаємо, що головні осі напружень в розглянутому елементі відповідають вертикальним і горизонтальним осям

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2\tau_s . \tag{4}$$

При таких же умовах в стовпчику бетонної суміші

$$\sigma_1 - \left( p_x \frac{dx}{\cos \varphi_x} \cos \varphi_x + \tau_x \frac{dx}{\cos \varphi_x} \sin \varphi_x \right) \frac{1}{dx} = 0.$$

Знехтуємо третім членом з причини його малості порівняно з першим і другим, тоді  $\sigma_1 = p_x$  і  $\sigma_3 = \sigma_x$ .

Відповідно до умови (4)

$$p_x - \sigma_x = 2\tau_s. \tag{5}$$

Враховуючи вище сказане, запишемо рівняння рівноваги сил, які діють на елементарний стовпчик бетонної суміші для різних зон взаємодії ролика з сумішшю:

I зона

$$\sum X = (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_{nx}) - \sigma_x h_x - p_x \operatorname{tg} \phi_x dx + \mu p_x dx - p'_x \operatorname{tg} \phi'_x dx + \mu_e p'_x dx = 0; \tag{6}$$

II і III зона

$$\sum X = (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_{nx}) - \sigma_x h_x - p_x \operatorname{tg} \phi_x dx - \mu p_x dx - p'_x \operatorname{tg} \phi'_x dx - \mu_e p'_x dx = 0. \tag{7}$$

Через рівність катетів, які протилежні кутам  $\phi_x$  і  $\phi'_x$ , взаємозв'язок останніх набирає вигляду

$$\phi'_x = \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_e}.$$

Під час дії ролика на середовище передача тиску  $p'$  нижнім шарам з певним розсіюванням, яке можливо охарактеризувати коефіцієнтом розсіювання  $\xi$

$$\xi = \frac{p'}{p}.$$

Підставивши вирази в рівняння для  $p'_x$  і для  $\phi'_x$ , отримаємо:

I зона:

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_{nx}) - \sigma_x h_x - p_x \operatorname{tg} \phi_x dx + \mu p_x dx - p_x \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_e} \right) - \mu_e \right) dx = 0$$

II і III зона:

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_{nx}) - \sigma_x h_x - p_x \operatorname{tg} \phi_x dx - \mu p_x dx - p_x \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_e} \right) + \mu_e \right) dx = 0$$

Відкинувши безкінечно малі другого порядку і врахувавши, що  $\operatorname{tg} \phi_x = \frac{dh_n}{dx}$ , отримаємо:

$$\text{I зона: } d\sigma_x + (\sigma_x - p_x) \frac{dh_n}{h_x} + p_x \left( \mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_e} \right) - \mu_e \right) \right) \frac{dh_n}{h_x \operatorname{tg} \phi_x} = 0 \tag{8}$$

II і III зона:

$$d\sigma_x + (\sigma_x - p_x) \frac{dh_n}{h_x} + p_x \left( -\mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_e} \right) + \mu_e \right) \right) \frac{dh_n}{h_x \operatorname{tg} \phi_x} = 0 \tag{9}$$

Використаємо умови пластичності для двомірної деформації та отримаємо основні диференційні рівняння для визначення контактного нормального тиску:

$$\text{I зона: } d(p_x - 2\tau_s) = \left( 2\tau_s - p_x \left( \mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right) - \mu_g \right) \right) \right) \frac{dh_n}{h_x} = 0$$

$$\text{II зона: } d(p_x - 2\tau_s) = \left( 2\tau_s - p_x \left( -\mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right) + \mu_g \right) \right) \right) \frac{dh_n}{h_x} = 0$$

Підставимо значення для граничного опору зсуву  $\tau_s$  отримаємо:

$$\begin{aligned} & d \left( p_x - 2 \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}} \cdot p_x + \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{вуп}}}{\varphi - \gamma} (\varphi_x - \gamma) + \tau_{\text{вуп}} \right) \right) = \\ & = \left( 2 \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}} \cdot p_x + \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{вуп}}}{\varphi} \varphi_x + \tau_{\text{вуп}} \right) - p_x \left( \mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right) - \mu_g \right) \right) \right) \frac{dh_n}{h_x} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & d(p_x - 2(\operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}} \cdot p_x + \tau_{\text{вуп}})) = \\ & = \left( 2 \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}} \cdot p_x + \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{вуп}}}{\varphi} \varphi_x + \tau_{\text{вуп}} \right) - p_x \left( -\mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right) + \mu_g \right) \right) \right) \frac{dh_n}{h_x} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Змінні  $\varphi_x$  і  $h_x$  визначають одну точку на дузі ролика, що дозволяє виразити  $h_x$  через  $\varphi_x$

$$h_x = R(1 - \cos \varphi_x) - (R_m + \Delta R_{np}) + R_g \cos \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right). \quad (12)$$

Диференціюючи вираз (10), отримаємо:

$$dh_x = \left( R \sin \varphi_x - \frac{R^2 \frac{\sin 2\varphi_x}{2}}{\sqrt{R_g - (R \sin \varphi_x)^2}} \right) d\varphi_x .$$

Після підстановки значення  $dh_x$  у вирази (8, 9) і перетворень:

$$\frac{dp_x}{d\varphi_x} = \left( \left( 2 \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}} \cdot p_x + \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{вуп}}}{\varphi - \gamma} (\varphi_x - \gamma) + \tau_{\text{вуп}} \right) - \frac{p_x \left( \mu - \xi \left( \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right) - \mu_g \right) \right)}{\operatorname{tg} \phi_x} \right) \times \right. \\ \left. \left( R \sin \varphi_x - \frac{R^2 \frac{\sin 2\varphi_x}{2}}{\sqrt{R_g - (R \sin \varphi_x)^2}} \right) \times \left( \frac{R(1 - \cos \varphi_x) - (R_m + \Delta R_{np}) + R_g \cos \left( \arcsin \frac{R \sin \phi_x}{R_g} \right)}{1 - 2 \operatorname{tg} \varphi_{\text{мер}}} + 2 \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{вуп}}}{\varphi - \gamma} \right) \right) \quad (13)$$

$$\frac{dp_x}{d\varphi_x} = \frac{\left( \left( 2(tg\varphi_{мер} \cdot p_x + \tau_{вуп}) - \frac{p_x \left( -\mu - \xi \left( tg \left( \arcsin \frac{R \sin \varphi_x}{R_g} \right) + \mu_g \right) \right)}{tg \varphi_x} \right) \right) \times \left( R \sin \varphi_x - \frac{R^2 \sin 2\varphi_x}{2 \sqrt{R_g - (R \sin \varphi_x)^2}} \right) \times \left( R(1 - \cos \varphi_x) - (R_m + \Delta R_{np}) + R_g \cos \left( \arcsin \frac{R \sin \varphi_x}{R_g} \right) \right) \right)}{1 - 2tg\varphi_{мер}} \quad (14)$$

Для знаходження рівняння рівноваги стовпчика для зони III підставимо в рівняння (9) співвідношення для  $\beta = \frac{p_x}{\sigma_x}$  і  $h_x$

$$\frac{dp_x}{d\varphi_x} = \frac{\left( (p_x(1-\beta)) \sin \varphi_x - 2\beta p_x \left( -\mu - \xi \left( tg \left( \arcsin \frac{R \sin \varphi_x}{R_g} \right) + \mu_g \right) \right) \cos \varphi_x \right) \left( R - \frac{R^2 \cos \varphi_x}{\sqrt{R_g - (R \sin \varphi_x)^2}} \right)}{\left( R(1 - \cos \varphi_x) - (R_m + \Delta R_{np}) + R_g \cos \left( \arcsin \frac{R \sin \varphi_x}{R_g} \right) \right)} \quad (15)$$

Рівняння (13, 14, 15) можливо вирішити численним методом Ейлера[9]. Початковою умовою для вирішення рівнянь (13, 14, 15) є тиск  $-p_A$  в початковій точці дуги захвату А  $\varphi_x = \varphi$ , який за умови захвату суміші дорівнює  $p_A = \frac{2\tau_{нас}}{1 - \frac{1}{\beta}}$ . Дані початкові умови можливо

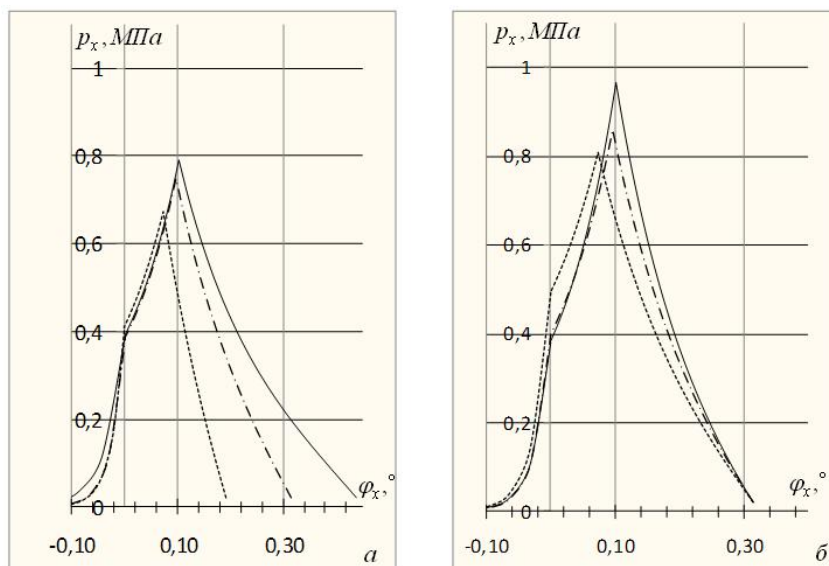
прийняти за малих значень бокових тисків  $p_a = 2 \cdot \tau_{нас}$ .

Для вирішення рівняння (14) початкове значення  $p_x$  в точці дуги захвату К,  $p_K, \varphi_K = \gamma_n$  прийемо рівним значенню тиску на кінці дуги АК при рішенні рівняння (13). Для вирішення рівняння (15) початкове значення  $p_x$  в точці дуги захвату В  $p_B, \varphi_x = 0$  прийемо рівним значенню тиску на кінці дуги KB при рішенні рівняння (14).

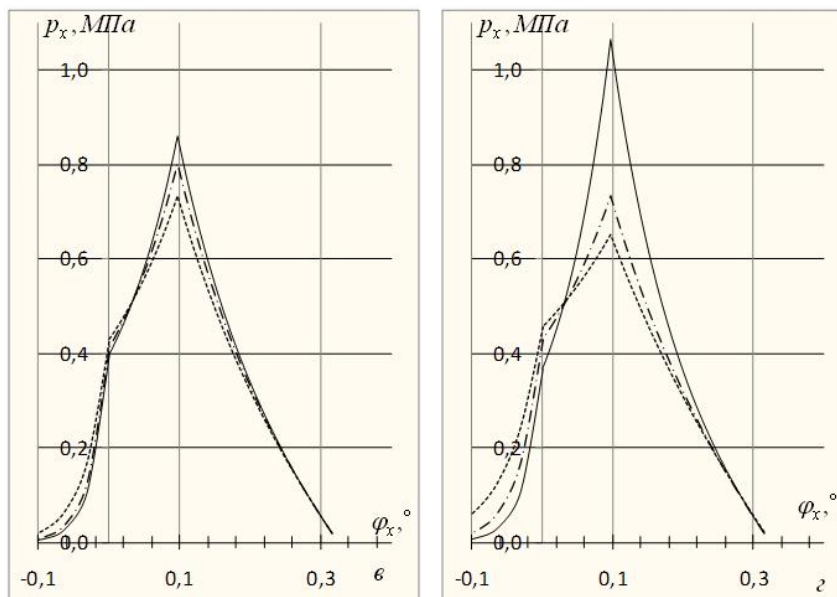
З попереднього аналізу отриманих диференціальних рівнянь закону розподілу нормальних контактних тисків по дузі захвату суміші слідує, що дані напруження залежать від великої кількості чинників, які характеризують властивості суміші ( $\tau_{нас}, \xi, \mu, \beta, \varphi_{мер}$ ) і геометричні параметри контактної взаємодії середовища з ущільнюючими органами ( $\varphi, R, R_g, R_m, \Delta R$ ).

Для наочного представлення характеру розподілу нормального контактного тиску  $p_x$  від головних факторів процесу роликового формування  $\varphi, \mu, R, R_g - R_m$  на рис. 3 приведені епюри розподілу тиску по дузі взаємодії.





----  $\varphi = 11^\circ$ , - · - · -  $\varphi = 18^\circ$ , — -  $\varphi = 25^\circ$ ; ---  $\mu = 0,3$ , - · - · -  $\mu = 0,4$ , — -  $\mu = 0,5$ ;



----  $R = 0,3м$ , - · - · -  $R = 0,4м$ , —  $R = 0,5м$ ; ---  $R_g - R_m = 0,1м$ , - · - · -  $R_g - R_m = 0,2м$ , —  $R_g - R_m = 0,3м$ ;

Рис. 3 Теоретична еюра розподілу контактного тиску по дузі захвату в залежності від коефіцієнта тертя (а), кута захвату (б) і радіуса ролика (в) і товщини оброблюваного середовища (г).

На рис.3, б представлена теоретична еюра розподілу нормальної напруги по дузі захвату у випадку формування затрубного простору тунелю при різних коефіцієнтах тертя. Збільшення коефіцієнту тертя  $\mu$  призводить до збільшення нормального контактного тиску і як наслідок до збільшення зусилля на переміщення робочого органу.

Зі збільшенням кута взаємодії  $\varphi$  (рис. 3, а) і зменшенням висоти оброблюваного середовища  $R_g - R_m$  (рис. 3, г) нормальні контактні

тиски будуть зростати за рахунок збільшення деформації шару, яка викликана збільшенням площі контакту. Зменшення висоти оброблюваного середовища  $R_g - R_m$  (рис. 3, г) призведе до збільшення деформації шару і збільшення нормальних контактних тисків.

Дотичні тиски взаємодії роликів робочого органу з сумішшю, враховуючи, що вони пропорційні нормальному тиску, можуть бути представлені у вигляді графіків (рис. 4).

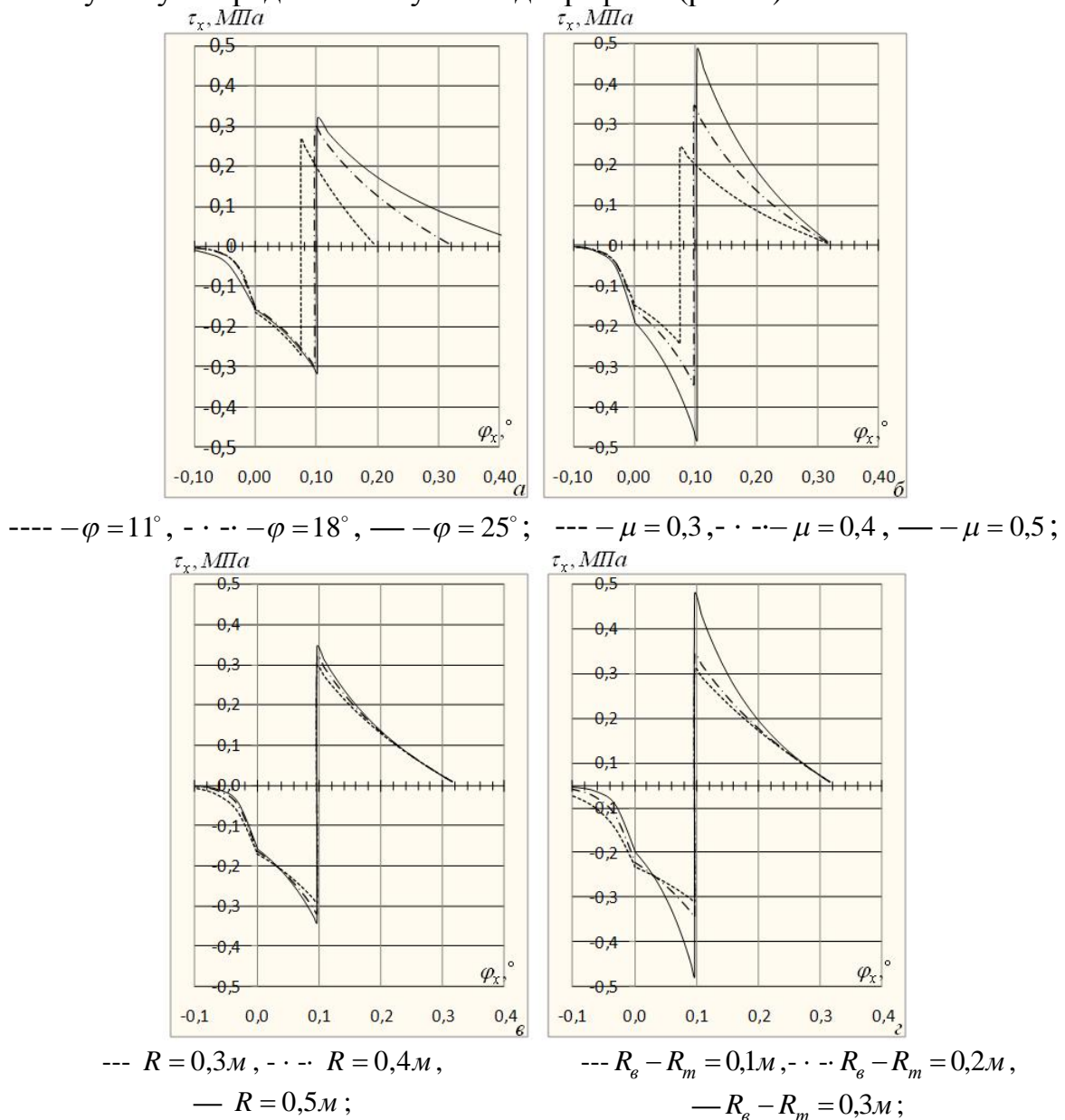


Рис. 4. Теоретична епюра розподілу дотичного контактного тиску по дузі захвату в залежності від коефіцієнта тертя (а), кута захвату (б) і радіуса катка (г), товщини шару (з).

По мірі росту нормального тиску в напрямку середини дуги захвату відбувається ріст дотичного контактного тиску  $\tau_x$ ; в точці К напрямком дотичного контактного тиску змінюється на протилежний і

величина його зменшується до нуля в кінці зони захвату С. Зміна напрямку дотичного тиску відбувається на протилежний внаслідок різного напрямку руху суміші в зонах випередження і зонах відставання. Зміна руху суміші відбувається поступово. Тому дійсний розподіл дотичних контактних тисків не буде мати таку різку зміну напрямку на протилежний і буде поступовим, але така різниця теоретичних і дійсних тисків не буде мати великого впливу для визначення опору перекочування ролика по деформованому середовищу.

*Висновки.* Рішення диференціальних рівнянь рівноваги елементарного стовпчика при формуванні затрубного простору роликів методом дозволило виявити закономірності зміни контактних тисків. Рішення диференціальних рівнянь відображає суттєвий вплив геометричних і трибологічних властивостей контактуючих площин на теоретичний розподіл контактних тисків.

Попередні експериментальні дослідження роликового формування показують більш плавний характер зміни контактних тисків в зоні максимальних значень. Причиною більш повільної зміни контактних тисків в нейтральній зоні є присутність ділянки загальмованої пластичної деформації або відсутності деформації, яка пов'язана з утворенням ядра ущільненого матеріалу який прилипає до робочого органу і обертається відносно миттєвого центру В (рис. 2). Підтвердженням даного висновку є дослідження Мадаля [10, 11] в який використана теорія жорстко ідеального пластичного тіла.

*Перспективи використання результатів дослідження.* Отримані результати розподілу контактних тисків при взаємній роликів робочих органів з оброблюваним середовищем при формуванні затрубного простору тунелю дозволяють визначити енергосилові параметри машини від властивостей суміші і геометричних параметрів процесу ущільнення, що дозволить створити методику розрахунку формуючих органів тунелепрохідницьких щитів.

#### Література

1. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів / І.І. Назаренко.–К.:Кнуба, 1999. – 488 с.

2. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси/ В.М. Гарнець. – К.:Будівельник. 1991.–144 с.

3. Пат. 48800 UA, МКП Е 21 D 9/06. Пристрій для зведення підземної споруди/ автори, заявники і патентовласники С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, О. В. Матвеев, Є. П. Тимошенко, В.Г. Волкова, Г. А. Дяченко; заявл. 11.11.2009, опубл. 12.04.2010, Бюл. № 7. – 2 с. іл.

4. D. Gene Daniel “Factors influencing Concrete Workability” Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, Bridgeport, 2006, pp. 59-72.

5. *Von Siegfried Velske, Horst Mentlein, Peter Eymann. Straßenbau, Straßenbautechnik., neubearb. Aufl. Werner, Neuwied Kartoniert 2009. ISBN 978-3-8041-3879-7*

6. *Johnson, K. L. Contact mechanics., Cambridge University Press, 1985, pp. 452.*

7. *Ивлев Д.Д. Механика пластических сред: В 2 т. Т.1. Теория идеальной пластичности / Д.Д. Ивлев. – М.: Физматлит, 2001. – 448 с.*

8. *Ильюшин А.А. Пластичность. Упругопластические деформации/ А.А. Ильюшин. М.—Л.: Гостехиздат, 1948.*

9. *Бахвалов Н. С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П.Жидков, Г.М. Кобельков. — М.: Бином, 2003. - 632 с.*

10. *Mandel J. Résistance au roulement d'un cylindre indéformable sur un massif parfaitement plastique. - In: Le Frottement and l'Usure. - Paris: GAMI, 1967.*

11. *Hambleton JP, Drescher A. (2009). On modeling a rolling wheel in the presence of plastic deformation as a three- or two-dimensional process. International Journal of Mechanical Sciences, 51(11-12), 846-855.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОРМИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРОХОДНОГО ЩИТА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДОЙ**

Ловейкин В.С., Шевчук С.П., Зайченко С.В.

### *Аннотация*

**В статье рассматриваются вопросы создания тоннеля машинами ТВМ типа. Раскрыты закономерности изменения нормальных и касательных контактных давлений между роликовыми рабочими органами и пластической средой.**

## **DETERMINATION CONTACT PRESSURE SHAPING THE INTERACTION WORKING-THROUGH OF THE SHIELD WITH THE TREATED ENVIRONMENTS**

V. Loveikin, S.Shevchuk, S.Zaichenko

### *Summary*

**The article considers the of processes of creation of tunnel machines of TBM type. Revealed patterns of change in the normal and tangential contact pressures between the working bodies of the roller and the plastic medium.**