

УДК 622.232.5.05

**І. А. Свєшніков<sup>1</sup>, С. П. Шевчук<sup>2</sup>, доктора технічних наук, В. М. Гарнець<sup>3</sup>,  
С. В. Зайченко<sup>2</sup>, канд. техн. наук, О. В. Матвєєв<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,

<sup>2</sup>Національний технічний університет "КПІ", м. Київ

<sup>3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

## **ТУНЕЛЕПРОХІДНИЦЬКИЙ ЩИТ З ФОРМУЮЧИМ РОТОРОМ**

*The article considers the of processes of creation of tunnel machines of TBM type. The offered chart of a tunnel building allows to increase the operation speed. Co-operation with the developed soil is considered to determine the productivity of forming process.*

У зв'язку зі збільшенням чисельності населення великих міст, попиту і вартості земельних ділянок, збільшується обсяги будівництва підземних споруд. Єдиним можливим рішенням при розв'язанні транспортних і комунікаційних завдань сучасного міста є будівництво підземних транспортних тунелів і колекторів [1].

Існуючі технології фірм "Herrenknecht", "Robbins", "Wirth" при будівництві тунелів і колекторів передбачають застосування тунелепрохідницьких щитових комплексів, які дають змогу підтримувати в забої навколишні породи щитом під час встановлення кільцевого оброблення. Унаслідок підготовки ґрунту з метою його формування і стабілізації кріплення здійснюють за просуванням щита. Оброблена поверхня уможливає встановлення тубінгового оброблення безпосередньо на відформовану поверхню, виключаючи трудомісткі процеси первинного та контрольного нагнітання піщаного розчину з високим вмістом цементу за кріплення тунелю.

Крім того, можна відрізнити такі переваги, пов'язані з експлуатацією тунелю за розробленою технологією:

- одразу після монтажу до роботи приєднуються елементи кріплення разом з навколишнім масивом, що запобігає розвитку деформацій контуру виробки;
- стабілізується ґрунтовий масив навколо тунелю і, отже знижується гірський тиск на оброблення;
- виключається або зводиться до мінімуму осад ґрунту.

Можливість будівництва за наведеною підтверджує вітчизняна технологія зведення збірних оброблень, що розпираються в породу [2]. Ця технологія передбачає силовий вплив на гірський масив, з метою його формування і стабілізації, що, як наслідок, так само виключає процеси первинного і контрольного нагнітання піщаного розчину за кріплення тунелю [3]. Разом з тим технологія збірних оброблень, що розпираються в породу має й недоліки, що призводять до ускладнень, а в окремих випадках деяких випадках унеможливають її застосування:

- практично неможливо отримати рівномірне обтискання по периметру кільця через виникаючі сили тертя по зовнішній поверхні оброблення, оскільки ці сили вдвічі, а то й втричі знижують тиски, що реалізується при обтисканні, пружного опору ґрунту на максимальній відстані від точки кільця, де прикладається зусилля обтискання;
- створене обтисканням у ґрунт попереднє напруження може бути надто нерівномірним по периметру кільця, що призводить до несиметричного та нерівномірного навантаження оброблення.

Нажаль, за ринкових умов відсутня інформація про конструктивні особливості сучасних прохідницьких щитів іноземних виробників, зокрема щодо підготовки ґрунту для встановлення кріплення безпосередньо на відформований і стабілізований ґрунт.

Аналіз існуючої технічної та економічної інформації [4, 5], вітчизняний досвід будівництва тунелів дають змогу запропонувати нові технологічні схеми будівництва прохідницькими щитами без первинного і контрольного нагнітання піщаного розчину за кріплення тунелю шляхом попереднього формування стабілізованого шару ґрунту.

Схему прохідницького щита зі стабілізацією і обтисканням ґрунту при будівництві тунелів методом роликового пресування показано на рис. 1. Щит 1 і ротор 4 рухаються в напрямі вибою за рахунок зусилля щитових домкратів 3, які впираються у збірне кріплення 2. Щитові домкрати 3 рухають щит, формуючу секцію опалубки 2 і ротор 4 в напрямі вибою. Обертаючись, ротор 4 розробляє ґрунтовий масив і подрібнена гірська порода частково потрапляє під укочувальні ролики 5. Ролики 5 втискають подрібнену гірську породу в радіальному напрямі й ґрунтовий масив ущільнюється по внутрішній периферії підземної споруди. Відформований у затрубному просторі ґрунт так само ущільнюється і за потреби зміщується із закріплювачем, утворюючи жорстку ґрунтову оболонку.

Формування сбілізуючого шару методом роликового пресування дає змогу створити оболонку з наджорстких сумішей високої густини, водонепронепроникні та хімічно стійкі з покращеною (без видимих пор) поверхнею [6]. Результати лабораторних та промислових досліджень засвідчують доволі високу міцність утворюваних поверхонь. Так, при роботі ротора з розчином бентоніту, що потребується для сталого процесу розроблення гірничого масиву, міцність утвореної оболонки дорівнює 0,09 МПа [7]. При додаванні в'язучого у вигляді цементу свіжовідформований шар має міцність 0,4 МПа [8], що достатньо для безпосереднього монтажу кріплення на свіжовідформований шар.

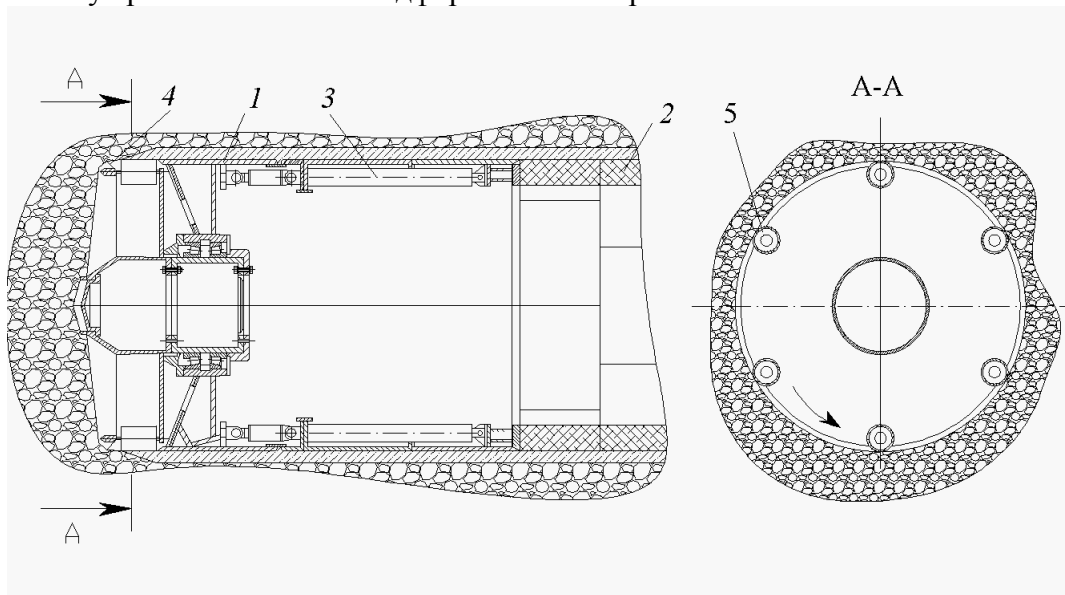


Рис. 1. Схема прохідницького щита зі стабілізацією і обтисканням ґрунту методом роликового пресування (привод ротора і тьюбінгоукладач не зображені)

Для розроблення прохідницького щита за запропонованою технологією будівництва тунелю необхідно створити методику розрахунку параметрів машини, яка враховуватиме особливості контактної взаємодії роликових робочих органів з гірським масивом. Характер та інтенсивність контактних тисків, що виникають внаслідок формування розробленої гірської суміші, визначаються реакцією гірського масиву.

Одним з основних параметрів процесу будівництва тунелю є швидкість руху прохідницького щита, яка залежить від продуктивності його головних елементів. У досліджуємому випадку необхідно поєднати процеси розроблення гірського масиву, складання кріплення і формування стабілізуючого шару. Продуктивність перших двох процесів доволі точно можна визначити за основними положеннями теорії різання ґрунтів та основами технології будівництва тунелів. При описуванні процесу формування стабілізуючого ша-

ру ґрунту можливо застосувати основні положення теорії роликового формування [9] з урахуванням особливостей кругової траєкторії руху роликів і кривизни основи.

З метою визначення продуктивності процесу утворення стабільного шару ґрунту розглянемо процес його формування (рис. 2.) При цьому вважаємо, що формуючий ролик і утворене вироблення циліндричної форми, а також те, що вироблення достатньо жорстке, щоб вважатися жорсткою основою. Відокремимо в зоні початку взаємодії ролика з оброблюваним середовищем елемент шириною  $dx$ , обмежений поверхнями ролика і вироблення. Початок захоплення середовища роликом характеризується кутом захоплення  $\alpha$ . На елемент діють сили, що утворюються в результаті контактної взаємодії котка і оброблюваного середовища. Інтенсивність взаємодії ролика із середовищем характеризується нормальною  $p$  і тангенціальною  $\tau$  складовими загального тиску дії ролика на середовище в цій точці. Оскільки тангенціальна складова  $\tau$  утворена тертям середовища по ролику, її значення залежить від добутку нормального тиску  $p$  і коефіцієнта тертя середовища по поверхні ролика  $\mu$ :

$$\tau = \mu p. \quad (1)$$

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

$$\xi = \frac{p}{p'}. \quad (2)$$

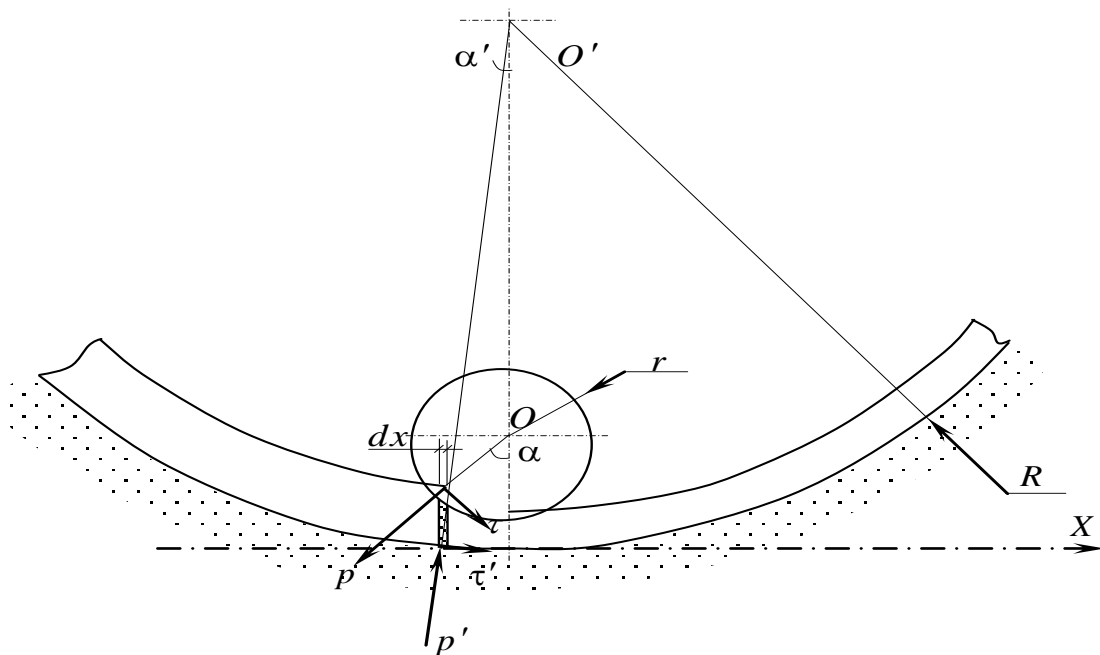


Рис. 2. Схема діючих сил на оброблюване середовище

Аналогічно дотичній складовій тиску між роликом і середовищем  $\tau$  можна подати дотичну складову тиску між середовищем і основою  $\tau'$ :

$$\tau' = \mu' p' \quad (3)$$

З огляду на зазначене, розглянемо рівновагу елемента, проектуючи діючі на нього сили на вісь  $OX$ :

$$\sum X = \tau' \frac{dx}{\cos \alpha'} \cos \alpha' + \tau \frac{dx}{\cos \alpha} \cos \alpha + p' \frac{dx}{\cos \alpha'} \sin \alpha' - p \frac{dx}{\cos \alpha} \sin \alpha = 0. \quad (4)$$

Підставивши формули (1) - (3) в вираз (4), отримаємо:

$$\sum X = p\xi\mu' \frac{dx}{\cos \alpha'} \cos \alpha' + p\mu \frac{dx}{\cos \alpha} \cos \alpha + p\xi \frac{dx}{\cos \alpha'} \sin \alpha' - p \frac{dx}{\cos \alpha} \sin \alpha = 0. \quad (5)$$

Через рівність катетів, що протилежні кутам  $\alpha$  і  $\alpha'$ , взаємозв'язок останніх набирає вигляду:

$$\alpha' = \arcsin \frac{r \sin \alpha}{R}.$$

У наслідок малих значень кута  $\alpha'$  можна стверджувати наступне:

$$\alpha' = \sin \alpha' = \operatorname{tg} \alpha'.$$

Підставивши значення кута  $\alpha'$  у (5), дістанемо  $\alpha$ :

$$\alpha = \arctan \left( \frac{\mu + \mu' \xi}{1 + \xi r/R} \right). \quad (6)$$

Визначивши кут захоплення  $\alpha$  роликком середовища, розрахуємо продуктивність процесу формування:

$$\Pi = kz \frac{n}{60} B \pi \left( R^2 - (R - r(1 - \cos \alpha))^2 \right),$$

де  $k$  – коефіцієнт ущільнення розпушеної породи;  $z$  – кількість роликів;  $n$  – частота обертання роторного робочого органу;  $B$  – довжина ролика.

Залежність продуктивності процесу формування від його геометричних і трибологічних параметрів вироблення можна зобразити графічно представити графічно (рис. 3). Результати аналізу зміни продуктивності процесу формування вироблення від співвідношення радіусів ролика  $r$  та радіусу вироблення  $R$ , а також коефіцієнта свідчить про її підвищення зі збільшення співвідношення  $r/R$  і коефіцієнта тертя  $\mu$ . Причому значний приріст продуктивності цього процесу слід очікувати при збільшенні розмірів формуючих робочих органів порівняно з підвищенням продуктивності від збільшення коефіцієнта тертя  $\mu$ .

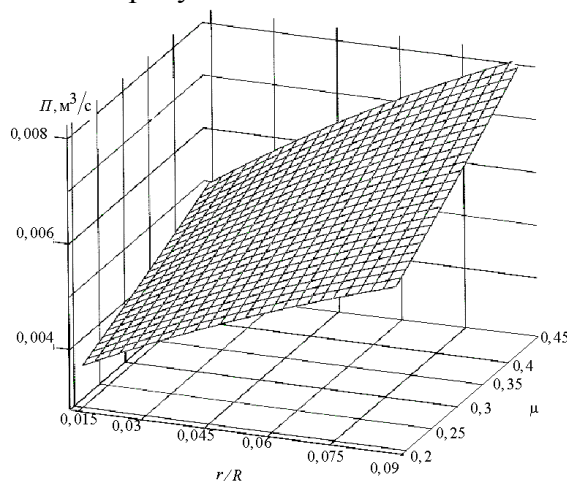


Рис. 3 Залежність продуктивності формування  $\Pi$  від співвідношення радіусів ролика  $r$  та вироблення  $R$  і коефіцієнта тертя  $\mu$ .

На основі отриманих залежностей продуктивності процесу формування вироблення від умов формування шару ґрунту зі сталими властивостями можна створити методику розрахунку основних конструктивних параметрів формуючих органів машини.

### Література

1. Маковский Л. В. Подземные транспортные сооружения в крупных городах за рубежом. – М.: Издательство ГОСНИИ, 1979. – 40 с.

2. Лысиков Б. А., Розенвассер Г. Р., Шаталов В. Ф. Строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Проф. Б. А. Лысикова. – Донецк: Норд-Пресс, 2003. – 304 с.
3. СН 322-74. Указания по производству и приемке работ по строительству в городах и на промышленных предприятиях коллекторных тоннелей, сооружаемых способом щитовой проходки. – М: Госстрой СССР, 1973. – 24 с.
4. Величкин Е., Ленец П. Строительство тоннелей и метрополитенов. – М.: Транспорт, 1971. – 392 с.
5. Строительство тоннелей в сложных горно-геологических условиях / Сост.: Л. Н. Бережная, Л. М. Калякина, Л. Т. Садчикова. – Фрунзе: Илим, 1983. – 564 с.
6. Гарнець В. М., Зайченко С. В. Високоєфективне обладнання для виробництва пустотних панелей // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Республ. між від. наук.-техн. зб.-к. – К.: Вид-во КНУБА, 1998. – Вип. 52. – С.78 – 82.
7. ГОСТ 28177-89. Глины формовочные бентонитовые. Общие технические условия.
8. Зайченко С. В. Експериментальні дослідження роликового формування // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Республ. між від. наук.-техн. зб.-к. – К.: Вид-во КНУБА, 2000. – Вип. 56. – С. 82–87.
9. Зайченко С.В. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуєчих агрегатів при виробництві пустотних панелей : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Київ: Вид-во КНУБА, 1995. – 20 с.

Надійшла 24.03.10

УДК 622.244.46

**А. Н. Давиденко**, д-р техн. наук, **А. А. Игнатов**

*Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина*

## **ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН**

*The subject of the article is the analysis of technology of drilling with application gasliquids mixes.*

### **Введение**

Практикой буровых работ как в Украине, так и за рубежом [1; 2] доказано, что газожидкостные смеси, применяемые в качестве очистных агентов при бурении скважин различного назначения, обеспечивают значительное повышение механической скорости бурения и снижение затрат времени на ликвидацию геологических осложнений, благодаря чему появились значительные резервы повышения производительности и экономичности буровых работ. Вследствие низкой плотности газожидкостных систем давление в кольцевом пространстве скважины невысокое, что и рекомендуется при разбуривании зон поглощения промывочной жидкости. Очистка скважины с использованием газожидкостных систем способствует также достижению более высокой скорости проходки. Исходя из этого, приходим к выводу, что в настоящее время технология бурения с применением газожидкостных смесей является одной из прогрессивных в области буровых работ. Вместе с тем существуют нерешенные задачи, что сдерживает более широкое использование газожидкостных смесей в практике сооружения скважин [3].

Цель настоящей работы – на основе теоретического анализа по данным исследований явлений, происходящих в скважине при циркуляции газожидкостных систем, выяснить воз-