

Будівельні машини і технологічне обладнання

УДК 622.232.5.05

С.В. Зайченко, к.т.н., доцент;
С.П. Шевчук, д.т.н., проф. (НТУУ "КПІ");
В.М. Гарнець, к.т.н., проф. (КНУБіА)

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЛИКОВОГО УЩІЛЬНЕННЯ СТОВБУРНОГО КРІПЛЕННЯ

АННОТАЦІЯ. В статті розглядається трьохмірне моделювання процесу роликового формування кріплення шахтного стовбура, з метою визначення контактних тисків взаємодії роликів робочих органів з середовищем, що оброблюється.

Ключові слова: тиски, деформації, пластичність, роликове формування.

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается трехмерное моделирование процесса роликового формирования крепления шахтного ствола, с целью определения контактных давлений взаимодействия роликовых рабочих органов с обрабатываемой средой.

Ключовые слова: давления, деформации, пластичность, роликовое уплотнение.

SUMMARY. The article deals with three-dimensional simulation of the formation of the roller mounting shaft, in order to determine the contact pressure roller interaction with the working bodies of the treated medium.

Key words: pressures, deformations, plasticity, roller compression.

Вступ

Одним з найбільш складних, тривалих, дорогих і трудомістких процесів в комплексі робіт по будівництву підземних споруд середнього і глибокого розташування є будівництво вертикальних стовбурів. На їхню частку приходить 10...25% вартості і 20...50% загальної тривалості комплексу гірничих виробок підземних споруд (шахт, колекторів, комунікацій місцевого транспорту). На період 2005-2015 рр. прогнозується значне зростання активності в галузі шахтобудівництва, що в першу чергу пояснюється постійно зростаючими і незадоволеними потребами світового ринку корисних копалин[1]. Тільки в Києві за період 2008-2012рр. при будівництві Південно-Західного колектора було побудовано шахтних стовбурів загальною глибиною більше за 1500 м.

Аналізуючи розвиток технології будівництва стовбурів протягом останніх 40 років, слід відзначити інтенсифікацію і оптимізацію технології, удосконалення техніки і обладнання для проходки стовбурів та проведення їхнього кріплення. Так, як наслідок даного розвитку переважна більшість

стовбурів (більше 90%) кріпиться монолітним бетоном і залізобетоном за допомогою пересувних металевих опалубок зверху вниз вслід за просуванням вибою з спусканням бетонної суміші по трубах з поперхні.

Будівництво стовбура за даною технологією передбачає застосування вібраційного глибинного ущільнення, що, як наслідок, потребує використання рухомих бетонних сумішей з високим значенням водоцементного відношення (В/Ц). Використання вібраційного ущільнення призводить до нерівномірного (з низьким значенням ступеня ущільнення) отриманого оброблення, які знижують такі техніко-експлуатаційні показники, як водонепроникність, корозійну стійкість, морозостійкість та ін.. Зниження показників якості кріплення частково пояснюється впливом вібрації на верхні пояса кріплення на етапі тужавлення цементу.

Вирішенням проблеми якісного ущільнення монолітного оброблення вертикальних стовбурів підземних споруд з високими експлуатаційними показниками є застосу-

вання принципово нових методів ущільнення, які дозволяють ущільнювати бетонні суміші з низькими значенням В/Ц. Одним з

Обертаючись, ротор 5 пресує бетонну суміш укочуючими конічно-циліндричними роликами 6.

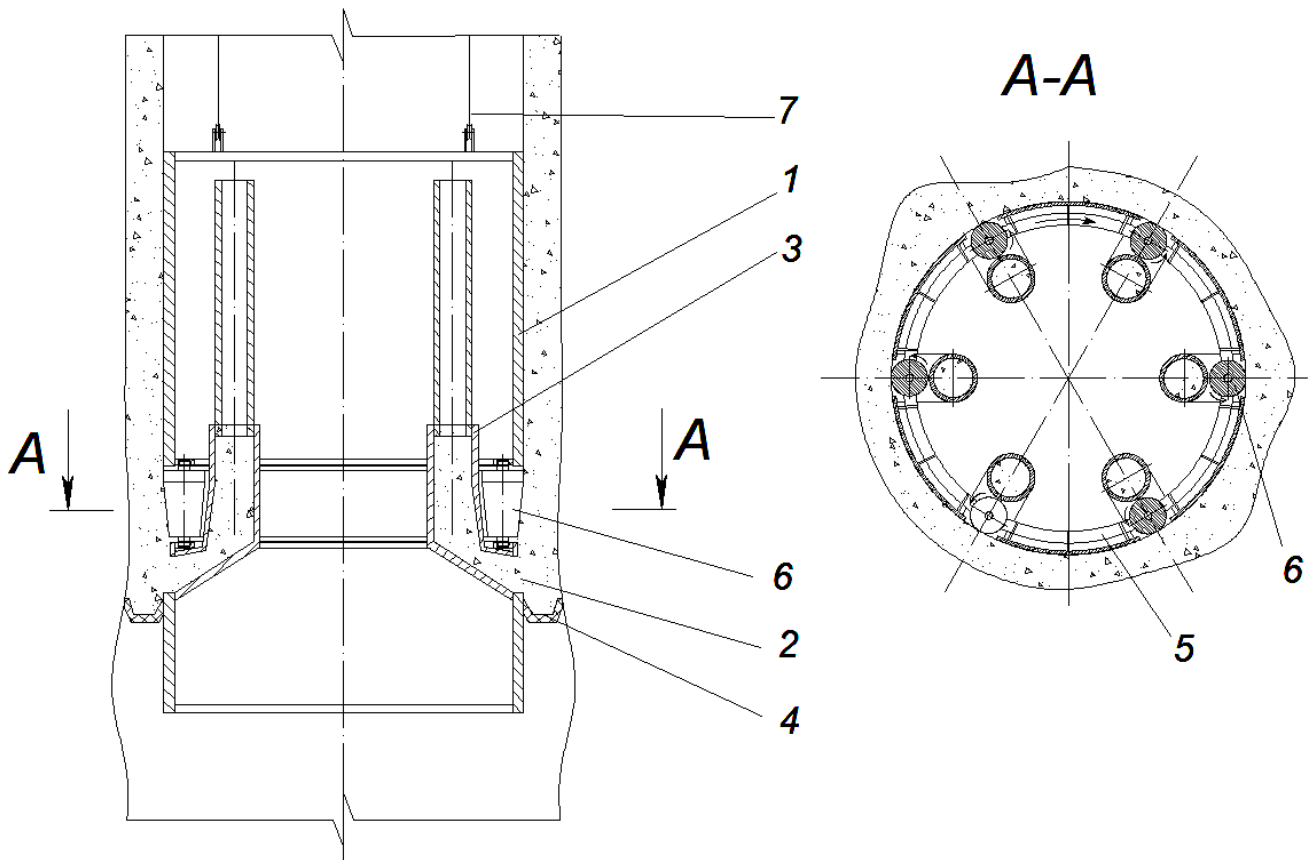


Рис.1 Схема формування кільцевого кріплення стовбура роликів методом

методів, що забезпечує високу якість ущільнення, є метод роликів формування.

Метод роликів формування полягає у багаторазовому вдавлюванні порцій суміші у свіжеукладений шар роликів робочим органом. Для випадку процесу роликів формування кріплення стовбурів запропонована нова технологічна схема, що представлена рис. 1. Процес формування відбувається наступним чином. Канати 7 опускають кільцеву оболонку 1, бетонопроводи 3 і ротор 5 з укочуючими конічно-циліндричними роликами 6 (полок не зображений). Бетонна суміш подається у бетонопроводи 3 і через отвори 2 потрапляє у простір між кільцевою оболонкою 1 і гірським масивом. Протіканню бетонної суміші запобігає ущільнююче кільце 4.

Відмінною особливістю роликів формування порівняно з укочуванням катками (наприклад при будівництві доріг) є присутність, крім руху кочення, переміщення робочого органа поздовж осі. Таким чином траєкторія руху осі роликів робочого органа представляє зигзаг у випадку формування плоскої поверхні виробу і гвинтову лінію для формування циліндричної поверхні. У наслідок різної кількості порцій вдавлювань свіжеукладений шар суміші вздовж ролика має різні фізико-механічні властивості, які в свою чергу визначають контактні тиски взаємодії ролика з сумішшю.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій

Теоретичне моделювання і фізичне випробування взаємодії між колесом і поверхнею в межах задач контактної механіки представлено в роботі К.Джонсона [2].

В монографії розглядаються плоскі контактні задачі зі сталими значеннями величин, які характеризують деформуюче пружне, пластичне та пружно-пластичне середовище. В роботах [3-7] основною метою є встановлення просідання шляхом проведення тривимірного аналізу контактної взаємодії вузького колеса з ґрунтом, в основі якого використано метод скінченних елементів. В наведених роботах не враховуються зміни властивостей шару суміші, що деформується вздовж контакту взаємодії, які викликані ущільненням. Також в наслідок того, що за мету поставлено знаходження напружень і деформацій середовища, а контактний тиск на площині контакту приймається сталим, прийняті припущення не враховують особливостей перекошування. З огляду на данні припущення, використання отриманих результатів для моделювання процесу роликового ущільнення, з

метою встановлення контактних тисків взаємодії робочого органу і середовища, яке оброблюється, суттєво ускладнено.

Постановка завдання

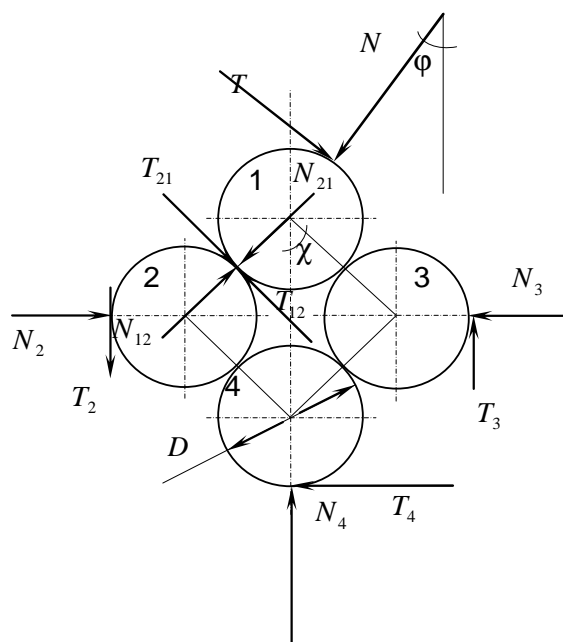
Знаходження основних закономірностей розподілу контактних тисків в зонах взаємодії роликів робочих органів формуючої секції прохідницьких комплексів з оброблюваним середовищем дозволить знайти основні енергосилові параметри процесу ущільнення та розробити на цій основі методики розрахунку параметрів, необхідних для проектування машин подібного класу.

Виклад основного матеріалу

Одним з основних питань при моделювання процесів ущільнення будівельних сумішей залишається опис моделі середовища, яке обробляється. При створенні моделей середовища, як правило, використовують принципи механіки суцільних середовищ. Але будівельна суміш є дисперсне середовище з головною ознакою дискретності частинок (заповнювача). Представлення частинок середовища у вигляді куль для тривимірної задачі і циліндрів для двовимірної задачі дасть змогу встановити аналітичні залежності розподілу напружень в еле-



а



б

Рис. 2 Зовнішній вигляд (а) і модель взаємодії частинок заповнювача будівельної суміші (б)

ментарному об'ємі залежність від фрикційних і геометричних параметрів взаємного розташування частинок [6-7].

Представлення частинок заповнювача у вигляді куль дозволяє той факт, що передача сил між частинками жорсткої суміші відбувається за допомогою оболонок, створених дрібним заповнювачем і цементним гелем, які роблять поверхні контакту опуклими (рис. 2, а)

Вирішивши систему рівнянь рівноваги чотирьох шарів (рис. 2, б) отримаємо, значення реакцій оточуючого середовища, що представлені силами $N_2, N_3, N_4, T_2, T_3, T_4$ від зовнішнього впливу T, N [8].

Встановлення співвідношень сил, що

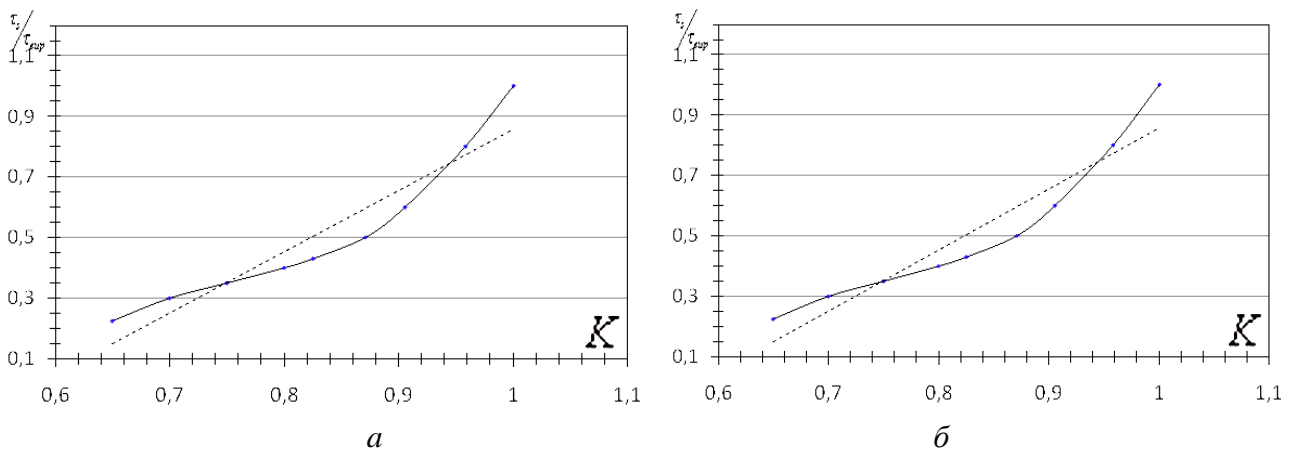


Рис. 3 Графік зміни відношення від коефіцієнта ущільнення :
а – фракція 5...10мм; б – фракція 10...20 мм

виникають при навантаженні на елементарний об'єм суміші, дозволяє встановити зв'язок між вертикальними і горизонтальними нормальними напруженнями, а також встановити коефіцієнт розсіювання тиску ξ [8].

Характерною ознакою процесу роликowego формування, як було зазначено вище, є зміна фізико-механічних властивостей оброблюваної суміші вздовж осі робочих органів, яка викликана різним ступенем

ущільнення. Аналіз зміни значення відношення опору зсуву τ_s до максимального опору зсуву $\tau_{s, \text{max}}$ на різних етапах ущільнення суміші, яким відповідають певні значення коефіцієнта ущільнення K , свідчить про близьку до лінійної залежності $\tau_s = \tau_s(K)$ (рис. 3).

Однією з умов стабільності проходження процесу роликowego формування є відсутність проковзування робочого органа по поверхні, що ущільнюється. Можливим заходом уникнення проковзування є забезпечення кута взаємодії суміші з середовищем вздовж робочого органа за яким відбувається захоплення суміші [9]. Одним з варіа-

нтів виконання даної умови є забезпечення сталого кута захоплення, що призводить до лінійного розподілу кількості спожитої рихлої суміші за довжиною робочого органа. В свою чергу коефіцієнт ущільнення K , прямопропорційний кількості вдавнених порцій суміші, це дозволяє зробити припущення, що до лінійного розподілу міцностних характеристик свіжевідформованої суміші по довжини робочого органа L .

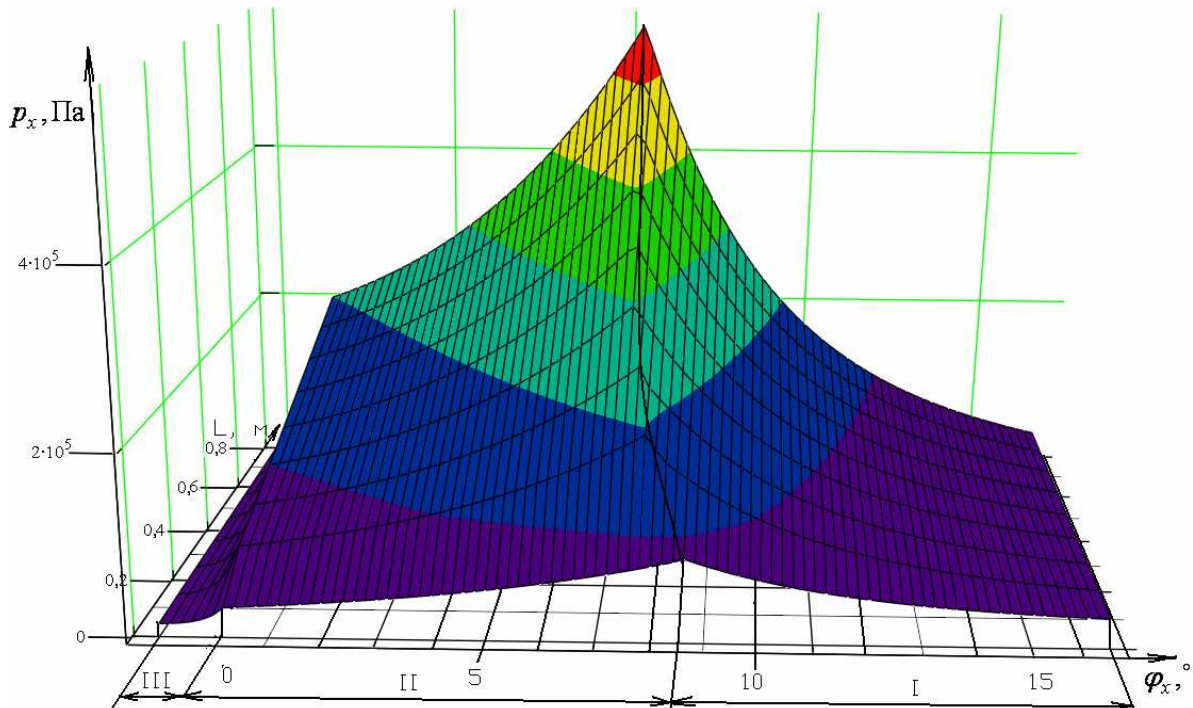


Рис. 4 Розподіл нормальних контактних тисків при трьохмірному дослідженні процесу роликowego ущільнення

З урахуванням можливого лінійного розподілу міцності за довжиною робочого органа L рівняння для граничного опору зсуву $\tau_{вир}$ свіжевідформованої суміші, встановленого в роботі [8], набуває вигляду:

$$\tau_{вир} = \frac{\tau_{вир.L} - \tau_{вир.0}}{L} \cdot y + \tau_{вир.0},$$

де y - координата точки контакту за довжиною робочого органа;

$\tau_{вир.0}$ і $\tau_{вир.L}$ - граничні опори зсуву свіжевідформованої суміші на початку і в кінці процесу формування.

Зробимо припущення, що плоскодеформований стан суміші орієнтується перпендикулярно напрямку руху ролика. Дане припущення базується на аналізі напруженого стану суміші під час роликowego ущільнення, за якого максимальні дотичні тиски виникають у площинах перпендикулярних осі обертання робочого органа.

Використовуючи диференційні рівняння розподілу напружень у середовищі під час дії роликowego робочого органа для зон на-

вантаження I, II і зон розвантаження III, які отримані в роботах [9, 10], можливо знайти розподіл контактних тисків, як за дугою контакту, так і вздовж роликowego робочого органа (рис. 4). Збільшення граничного опору зсуву свіжевідформованої суміші $\tau_{вир}$ за довжиною L (рис. 4) здійснює значний вплив на зростання нормального контактного тиску p_x за дугою захвату. Також слід відзначити зміну положення на дузі контакту максимального тиску в сторону найбільших деформації, середовища що обробляється. Також запропоноване рішення відображає більш різке зменшення контактних тисків у зоні розвантаження III.

Висновки

Представлене визначення нормальних контактних тисків p_x при тривимірному дослідженні процесу роликowego ущільнення дасть змогу з більшою точністю визначити розподіл тисків по поверхні контакту робочих роликowych органів з середовищем, яке обробляється, що в свою чергу дозволить

встановити необхідні енергосилові параметри процесу формування кріплення підземних виробок кругового поперечного перерізу.

Література

1. *Schmah P.* Weiterentwicklung und Perspektiven mechanisierter Schachtteuftechnik / Schmah P., Kunstle B. // *Gluckauf.* - 143 (2007) Nr. 4
2. *Johnson K. L.* Contact mechanics. Cambridge: Cambridge University Press; 1987, 468c
3. *Hambleton J. P.* On modeling a rolling wheel in the presence of plastic deformation as a three- or two-dimensional process, *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 51, pp. 846-855, Nov-Dec 2009.
4. *Chiroux, R.C.* Three-dimensional finite element analysis of soil interaction with a rigid wheel. *Applied mathematics and computation.* 2005 Mar. 15, v. 162, issue 2, p. 707-722.
5. *Hambleton J. P.* Modeling wheel-induced rutting in soils: Rolling by: J. P. Hambleton, A. Drescher *Journal of Terramechanics*, Vol. 46, No. 2. (April 2009), pp. 35-47.
6. *Akisanya A.R.* Hydrostatic compaction of cylindrical particles. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 42. pp. 1067-1085. ISSN 0022-5096
- 7.
8. *Sridhar N.A.* Cold compaction of an array of cylindrical fibres, *Int. J. Mechan. Sci.*, 43, No. 3, 715–742 (2001).
9. *Зайченко С.В.* Дискретно-пластична модель середовища процесу роликowego формування затрубного простору тунелю / Зайченко С.В., Шевчук С.П., Гарнець В.М. // *Гірничая електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб.* – 2011. – Вип 87. – С. 127–133.
10. *Свєшніков І. А.* Матвєєв Тунелепрохідницький щит з формуючим ротором / І. А. Свєшніков, С. П. Шевчук, В. М. Гарнець, С. В. Зайченко, О. В. Матвєєв// *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: [Зб. наук. праць /наук.ред. Соколов О.М.]. - К.: Институт серх твєдых материалов им. Бакуля Национальной академии наук : Вид-во ЛОГОС, 2010. – Вип. 13. – С. 78-82.*
11. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуєчих агрегатів при виробництві пустотних панелей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.02 / С.В. Зайченко; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. — К., 2001. — 19 с.

Рецензент: Н.В. Зуєвська, д.т.н., проф.
(НТУУ «КПІ», Київ)

Отримано: 25.05.2012 р.