

4. Vovk A. A., Kuz'menko A. A., Vovk O. A.- Parameters of seismic waves in rock bursts // Applied Fluid Mechanics . - 2006 . - Volume 8 (80). - № 2.-S. 18-25.

5. Kuz'menko A. A. - Propagation of seismic waves in a layered massif (A. A. Kuz'menko, T.V. Khlevniuk, O. N. Chala) // News nat. tehničnogo universitetu Ukrainy" Kyivskiy politehničniy instytut. Seriya "Girnyctvo". SC . scientific works. - Kiev: NTUU "KPI": CJSC "Tehnovybud", 2010. - Preview Issue 19. - P.15- 20.

6. Vovk O. A., Guy A. E., Levankova L. N. Determination of the initial parameters for the study of seismic waves in porous media at blasting and rock bursts // News Natsionalnogo tehničnogo universitetu of Ukraine "KPI". Seriya "Girnyctvo": Collection of scientific prats. - Kiev: NTU "KPI", CJSC "Tehnovibud". - 2005 . - Preview Issue 12. - P. 32-42.

7. Vovk O. O. Vpliv pidzemnih girnichih robit the camp dovkilja (O. O. Vovk, V. M. Isaienko, V. G. Kravets, O. O. Vovk). - K.: Type of NHRI IM. MP Drahomanova. - 2011 . – 543 s.

8. Rodionov V. N. The mechanical effect of underground explosion (V. N. Rodionov, V. V. Adushkin, V. N. Kostjuchenko, V. Nicholas, A. N. Romashov, V. M. Tsvetkov). - Moscow: Nedra , 1971. - 224.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2014 р.

УДК 624.21 + 624.19(066)

В. Г. Кравець, д. т. н., С. В. Зайченко, к. т. н. (НТУУ «КПІ»)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИКОНТУРНОГО ҐРУНТОВОГО МАСИВУ ПРИ РОЛИКОВОМУ УЩІЛЬНЕННІ

**V. H. Kravets, Doctor of Technical Science, S. V. Zaychenko, Cand. Sc. (Tech.)
(NTUU «KPI»)**

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SOIL MASS IN THE MARGINAL ROLLER COMPACTION

Досліджено процес формування геотехнічних властивостей приконтурного ґрунтового масиву роликівим методом ущільнення. При дослідженні процесу роликівого формування ґрунтового масиву встановлено, що зона силового впливу розділяється за типом виникаючих деформацій на зону пружних деформацій, зону уповільненої деформації (ядро ущільнення) і зону розвинених пластичних деформацій. Для визначення напружено-деформованого стану зони розвинених пластичних деформацій використано модель Бінгама, що дозволило врахувати в'язкі властивості ґрунтів при їх динамічному навантаженні.

Ключові слова: напружено-деформований стан, контактний тиск, ґрунт, опір зсуву, тунель.

Исследован процесс формирования геотехнических свойств приконтурного массива роликівим методом уплотнения. При исследовании процесса роликівого формирования ґрунтового массива установлено, что зона силового воздействия разделяется по типу

возникающих деформаций на зону упругих деформаций, зону замедленного деформирования (ядро уплотнения) и зону развитых пластических деформаций. Для определения напряженно-деформированного состояния зоны развитых пластических деформаций использована модель Бингама, что позволило учесть вязкие свойства грунтов при их динамической нагрузке.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, контактное давление, грунт, сопротивление сдвигу, тоннель.

The formation process of geotechnical properties of the marginal array roller compaction method. In the study of the process of formation of the soil mass roller set that force impact zone is divided by type of emerging strains on the elastic deformation zone, a zone of slow deformation (core seals) and a zone of plastic deformation. To determine the stress-strain state of the zone of plastic deformation of the Bingham model is used, allowing to take into account the viscous properties of soils under dynamic load.

Keywords: stress-strain state, contact pressure, ground, shear resistance, tunnel.

Вступ. Збільшення чисельності населення великих міст, зростання попиту і вартості земельних ділянок призводить до збільшення об'ємів підземного будівництва. При вирішенні транспортних і комунікаційних завдань сучасного міста єдиним можливим рішенням є будівництво підземних транспортних тунелів і колекторів.

Ущільнення основ комунікаційних споруд (доріг, автомагістралей і т.п.), які знаходяться на поверхні, стало невід'ємною частиною робіт, спрямованих на збільшення несучої здатності і надійності споруд. Досвід механічного ущільнення основ наземних об'єктів може бути використаний при зведенні підземних комунікаційних споруд. Традиційно для ущільнення основ комунікаційних споруд використовується високопродуктивний метод укочування циліндричними робочими органами (катками). Укочування як метод безперервного ущільнення будівельних конструкцій успішно реалізований в технології роликового ущільнення [1-2]. Відмінністю укочування являється механізм виникнення силового впливу на середовище. Для роликового методу ущільнення силовий вплив виникає в результаті деформації середовища в той час, як при укочуванні вплив на середовище практично обмежений вагою технологічного обладнання. Застосування методу роликового ущільнення дозволяє провести стабілізацію приконтурної зони підземної споруди безперервним способом з метою збільшення її несучої здатності і надійності.

Процес роликового формування проходить в широкому діапазоні швидкостей руху роликового робочого органу. Для підвищення продуктивності, а також забезпечення стабільності процесу формування швидкість руху робочих органів при ущільненні кільцевих конструкцій може перевищувати 5 м/с. При цих значеннях швидкості робочих органів швидкість дотичних (кутових) деформацій може перевищувати 15 с^{-1} , що за наявності в'язких властивостей середовища, що ущільнюється, неодмінно приведе до виникнення додаткової складової опору.

Аналіз стану проблеми. В роботах присвячених методу укочування катками [3-4] і роликовому формуванню [1-2] моделювання процесу ущільнення побудовано на взаємодії шару суміші, підсиленого абсолютно жорсткою основою, без врахування в'язких властивостей середовища, що оброблюється. Також більшість розрахункових моделей при моделюванні процесу взаємодії середовища з роликівими робочими органами не враховує можливе розділення зони силового впливу за характером деформацій і зміною фізико-механічних властивостей.

Мета роботи. Для визначення основних параметрів процесу роликового формування приконтурного ґрунтового масиву тунелю необхідно дослідити його напружено-деформований стан середовища, що оброблюється, при динамічній дії робочого органу з врахуванням розділення зони силового впливу за характером деформацій і зміною фізико-механічних властивостей.

Матеріали і результати досліджень. Розрахункові схеми взаємодії роликівих робочих органів з ґрунтом представлені у вигляді інденторів складного профілю, що перекочуються по оброблюваному середовищу. Оброблюване середовище представлене напівпростором з анізотропними (ортотропними) властивостями. Індентори є абсолютно жорсткими тілами, обмеженими циліндричною поверхнею.

Контактне завдання взаємодії роликівих робочих органів з ґрунтовым масивом, вирішується як сукупність плоских(уздовж осі обертання робочого органу) і розділяється на два етапи:

- взаємодія робочих органів із зоною уповільненої деформації (ядра ущільнення);
- взаємодія ядра ущільнення із зоною розвиненої пластичної деформації.

При дії на ґрунтовий масив роликового робочого органу середовище, що обробляється, в залежності від значень виникаючих деформацій поверхні проявляє свої пружні і пластичні властивості. Початок взаємодії робочого органу (зона I, дуга AB, ϕ_I) (рис. 1) супроводжується пружними і пластичними деформаціями масиву, які відповідають фазі ущільнення і зсувів (фаза ущільнення і локальних зсувів) (зона I). Подальший вплив робочого органу призводить до утворення фази розвиненої пластичної течії (фаза розвитку значних зсувів) між сформованим ядром ущільнення (зона II) і зоною ущільнення, яка утворюється під ядром (зона III). Сумарна висота зон II і III складає глибину ущільненого ґрунтового масиву з підвищеною несучою здатністю.

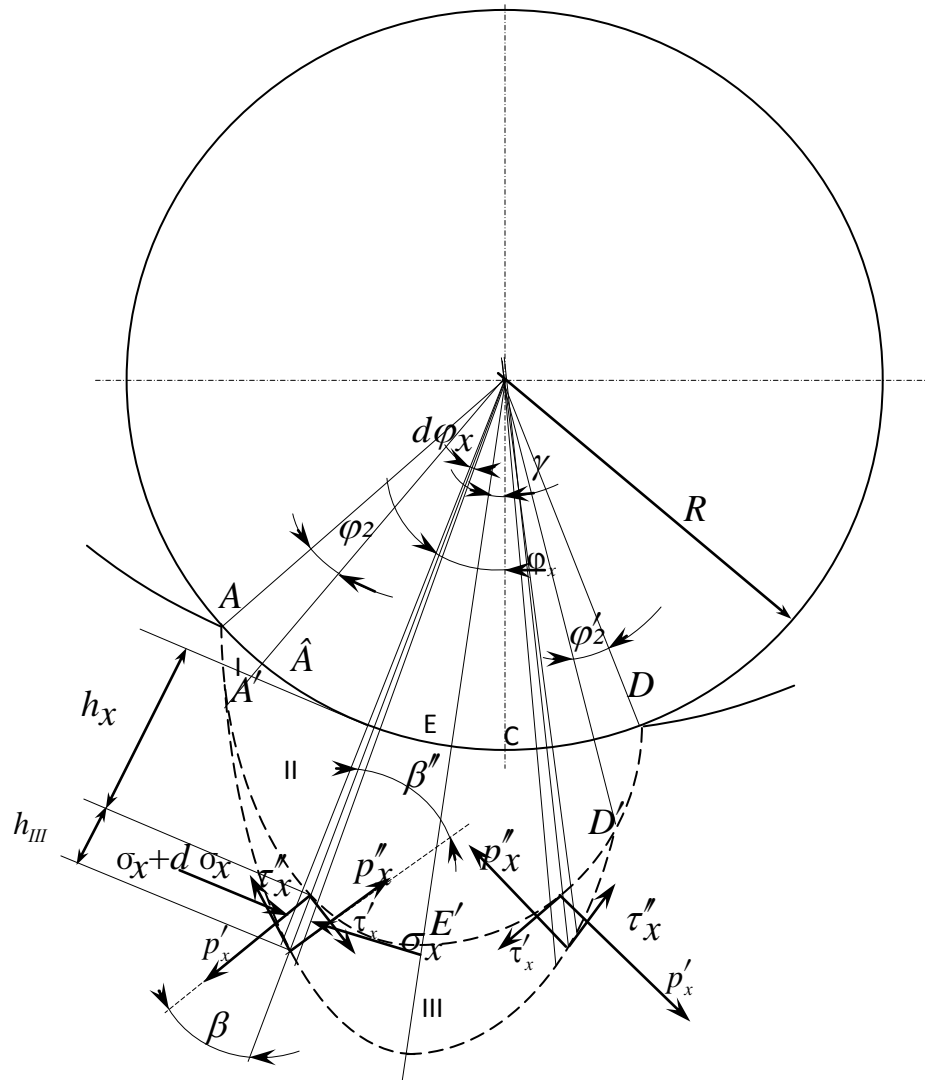


Рис. 1. Розрахункова схема моделювання процесу ущільнення в зоні розвиненої пластичної деформації

Для вирішення другого етапу задачі розглянемо умови рівноваги елементу ґрунту (зони III) в двох випадках: коли він знаходиться в зоні випередження $A'E'$ і коли він знаходиться в зоні відставання $E'D'$ спроектувавши діючі сили на вісь перпендикулярну до висоти елементу. Після перетворень умов рівноваги і використання умов пластичності Треска-Сен-Венана можливо отримати диференціальні рівняння, рішення яких відносно h_{222} дозволяє встановити висоту зони розвиненої пластичної деформації:

для зони випередження (дуга $A'E'$):

$$\frac{dh_{III}}{d\phi_x} = \frac{\operatorname{tg}(\beta)}{\frac{1}{(R+h_x+h_{III})} + \frac{(1+\mu'\operatorname{tg}(\beta)) - \frac{2\tau_s}{p_x'}}{(R+h_x)}}, \quad (1)$$

для зони відставання (дуга $E'D'$):

$$\frac{dh_{III}}{d\phi_x} = \frac{\operatorname{tg}(\beta)}{1 - \frac{(1 + \mu' \operatorname{tg}(\beta)) - \frac{2\tau_s}{p'_x}}{(R + h_x + h_{III}) - (R + h_x)}}, \text{ де:} \quad (2)$$

μ' - коефіцієнт тертя; τ_s - граничний опір зсуву.

Середня по висоті кутова швидкість деформації елемента, що розглядається (зони III) враховуючи, що відношення прирощень $\frac{1}{\partial x} = \frac{1}{(R + h_x) \partial \phi_x}$

і $\frac{1}{\partial z} = \frac{1}{h_{III}}$:

ділянка $A'E'$: $\dot{\gamma} = \bar{V}'_{E'} \left(\frac{\cos \beta}{(R + h_x)(\phi - \gamma - \phi_1)} + \frac{\cos \alpha}{h_{III}} \right), \phi_x \in (\varphi - \varphi_I; \gamma);$

ділянка $E'D'$: $\dot{\gamma} = \bar{V}'_{E'} \left(\frac{\cos \beta}{(R + h_x)(\gamma + \phi_{np} - \phi_1)} + \frac{\cos \alpha}{h_{III}} \right), \phi_x \in (\gamma; \phi_{np} - \phi_1).$

Скориставшись розробленим алгоритмом розрахунку головних параметрів формування ґрунтового масиву роликівим методом (рис. 2), скориговано значення міцності матеріалу з врахуванням в'язкої складової, визначено розподіл висоти зони розвиненої пластичної деформації. Визначення в'язкої складової міцності матеріалу можливе з використанням результатів дослідження реологічних параметрів ґрунтових сумішей. На рис. 3 представлено розподіл висоти зони розвиненої пластичної деформації з врахуванням реологічних властивостей суміші при дії роликівого робочого органу радіусом $R = 0.3 \text{ м}$ зі швидкістю руху $V_p = 5 \text{ м/с}$.

На рис. 3 представлено результати рішення диференціальних рівнянь (1, 2) для ґрунтів з різними фізико механічними властивостями за розробленим алгоритмом (рис. 2).

Порівняння розподілів висоти зони III, отриманих при різній поведінці ґрунтів (пластичній і в'язко-пластичній), свідчить про необхідність врахування в'язких властивостей середовища при моделюванні процесу роликівого формування геотехнічних властивостей прилеглого контуру підземної споруди. Значна різниця отриманих результатів спостерігається для ґрунтів з великим вмістом глини (суміш №3, вміст глини 30%). Максимальна відносна різниця значень отриманих розподілів висоти h_{III} при різних моделях (рис. 3, б і рис. 3, г) складає 44.4% при абсолютних значеннях максимальних висот 0,063 м і 0,091 м.

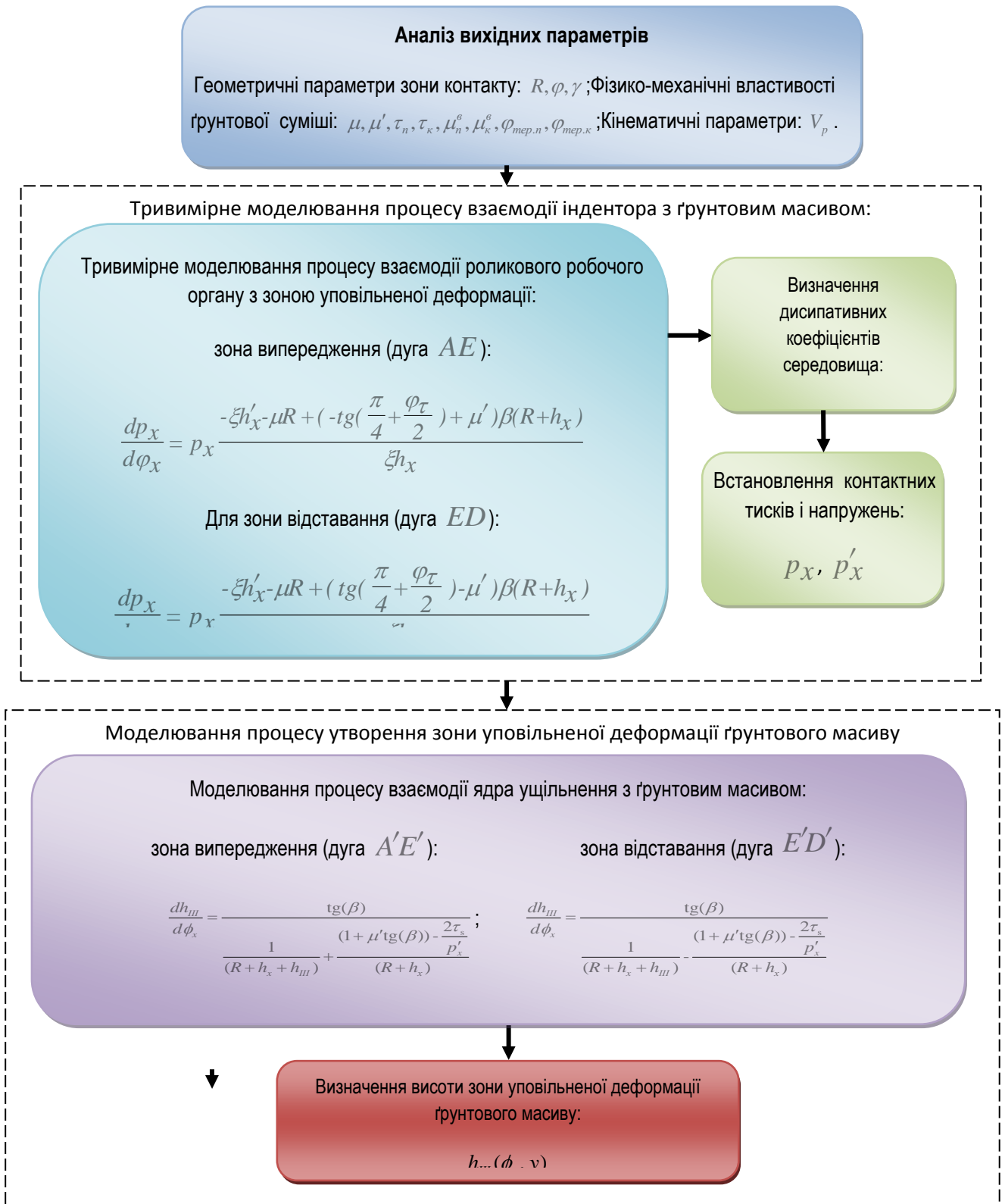


Рис. 2. Структурна схема визначення головних параметрів формування ґрунтового масиву роликів методом

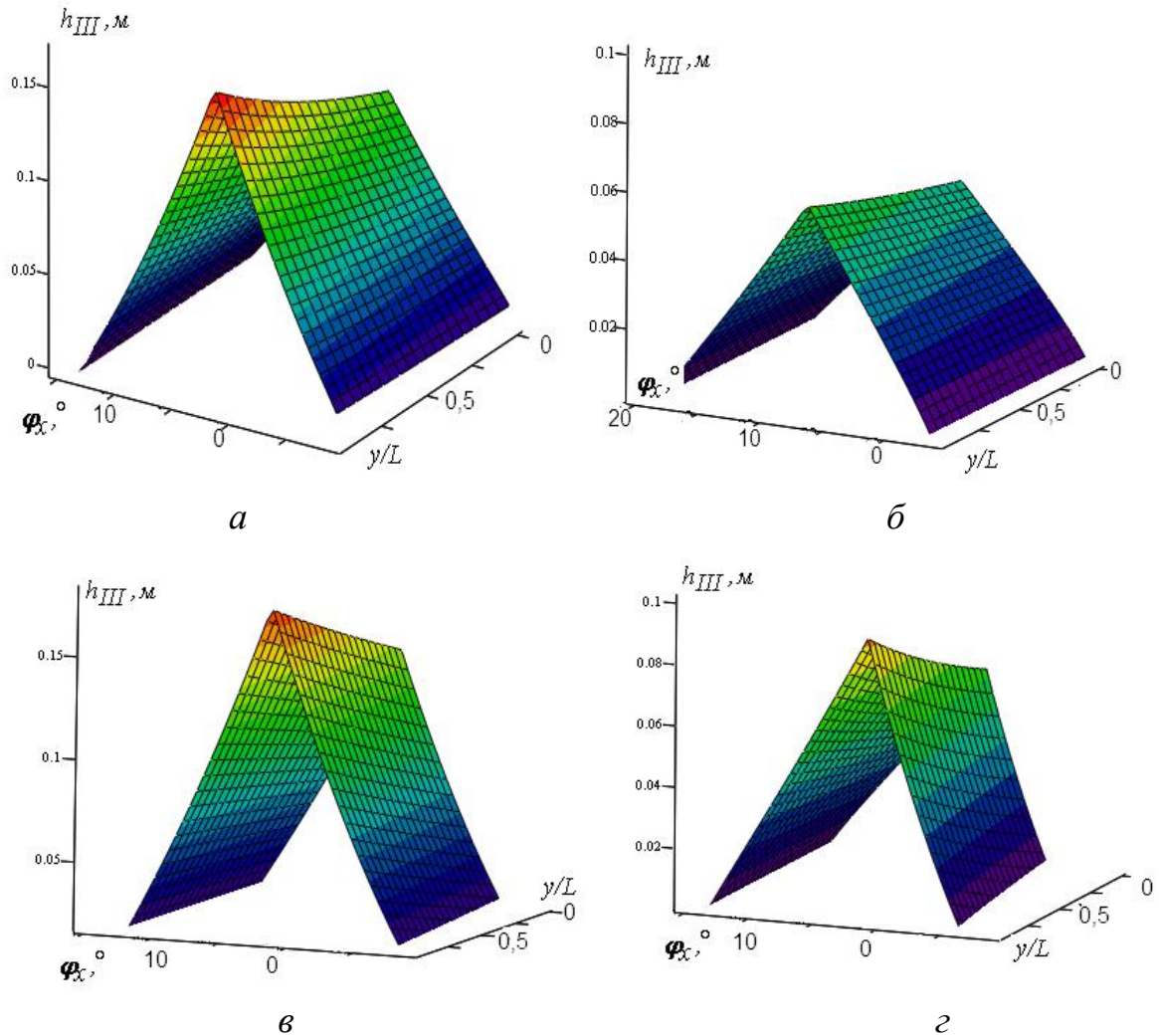


Рис. 3. Розподіл висоти зон розвинутої пластичної деформації:

a, в – суміш №1 вологість $W_c = 18\%$; *б, г* – суміш №3 вологість $W_c = 14\%$

Зі зменшенням вмісту глиняних часток в ґрунті в'язкі властивості проявляються в меншій мірі, що обумовлює в свою чергу практично рівні розподіли висот ущільненого матеріалу. Про це свідчить порівняння розподілів висот для суміші з вмістом глини 10% (суміш №1). Максимальна відносна різниця значень отриманих розподілів висоти h_{III} при різних моделях (рис. 3, *a* і рис. 3, *в*) складає 5.3% при абсолютних значеннях максимальних висот 0.170 м і 0.179 м. Цілком очевидно, що збільшення швидкості деформації (до 5 м/с) призводить до збільшення глибини ущільненого приконтурного шару ґрунту, що в свою чергу позитивно відзначиться на несучій здатності будови тунелю.

Висновки

Визначення закономірностей розподілів нормальних контактних тисків і висот зон деформацій при динамічному впливі роликів робочих органів на

приконтурний ґрунтовий масив дозволяє встановити основні параметри процесу роликового формування геотехнічних властивостей приконтурного ґрунтового масиву тунелю з урахуванням реологічних властивостей бетонної суміші.

Використовуючи наведені спрощені моделі поведінки ґрунту (модель Гука і Бингама з зміцненням) при дії роликового робочого органу, можна вважати, що після проведення процесу формування геотехнічних властивостей прилеглого контуру, у випадку будівництва тунелю кругового обрису, ґрунтовий гірський масив буде розділено на зони з границями у вигляді концентричних кіл.

Список використаних джерел

1. Korolov N.E., Kuzin V.N., Selivanova S.A. Formovanie zhelezobetonnyih izdeliy metodom rolikovogo pressovaniya // NIIZhB. M.: Stroyizdat, 1970. – vyip. 22. –S. 32–38.
2. Korolyov N.E. K vyboru stankov dlya massovogo proizvodstva betonnyih i zhelezobetonnyih trub // Beton i Zhelezobeton. 1973. – №3. – S. 9-10.
3. Kaluzhskiy Ya.A., Batrakov O.T. Uplotnenie zemlyanogo polotna i dorozhnyih odezhd. M.: Transport, 1970. – 160 s.
4. Harhuta N.Ya., Vasilev Yu.M. Ustoychivost i uplotnenie gruntov dorozhnyih nasyipey. M.: Avtotransizdat, 1964. – 216 s.
5. Mehanika kontaktnogo vzaimodeystviya : per. s angl. / K. Dzhonson ; pod red. R.V. Goldshteyna . – M. : Mir, 1989 . – 510s.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2014 р.

УДК 624.39.329

Н. С. Ремез, д. т. н., І. А. Іванова (НТУУ «КПІ»)

ВЗАЄМОДІЯ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ З ШАРУВАТИМ ГРУНТОВИМ МАСИВОМ І ПІДЗЕМНИМ ТРУБОПРОВОДОМ

N. S. Remez, doctor of technical sciences, I. A. Ivanova (NTUU «KPI»)

INTERACTION OF SEISMIC BLAST WAVES WITH LAYERED SOIL MASSIF AND UNDERGROUND PIPE

Проведено математичне моделювання взаємодії сейсмовибухових хвиль з шаруватим ґрунтовим масивом і розташованим у ньому трубопроводом. Встановлені залежності основних параметрів коливань системи «ґрунт – трубопровід» для різних випадків розташування шарів ґрунту для забезпечення сейсмобезпеки охоронного об'єкта.