

---

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

---

UDC 624.138.22-032.61

Y. L. VYNNYKOV<sup>1</sup>, T. V. LYTVYENENKO<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Depart. «Highways, geodesy, land management and rural buildings», Poltava National Technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravnevyi avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, tel. +38 (099) 292 96 94, e-mail vynnykov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2164-9936

<sup>2\*</sup> Depart. «Highways, geodesy, land management and rural buildings», Poltava National Technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravnevyi avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, tel. +38 (099) 413 59 99, e-mail tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru, ORCID 0000-0002-4747-3353

### CORRECT CONDITIONS OF CLAY SOILS BEING A PART OF HIGHWAY EMBANKMENT COMPACTION FE MODELING

**Purpose.** Finite elements method (FEM) spatial tasks decisions using elastic-plastic soil models show the possibility of correct soil compaction modeling, but unresolved is the item of testing these solutions for clay soils compaction process modeling being a part of highway embankment by the condition of their long-term strength ensuring, which was the aim of the work. **Methodology.** To simulate the process of layered clay soils compaction being a part of highway embankment, it is used well tested software package «PRIZ-Pile», which implemented the FEM-stepping iterative methods axisymmetrical task of physically and geometrically nonlinear statement with representation of soil isotropic or orthotropic environment. **Findings.** As a result of numerical simulation three-factors analysis of the impact on the skeleton density average value in the compacted soil initial clay soil skeleton density within the layer after its dumping and leveling, initial thickness of filled and planned to horizontal level subgrade by grader or bulldozer layer, reduction of each clay soil layer surface under the smooth roller was performed. With high statistical indicators values the empirical equation of the relationship between clay soil skeleton density in each compacted layer and above mentioned parameters is obtained. **Originality.** New correct conditions of FEM modeling in physically and geometrically nonlinear statement the process of layered clay soils compaction being a part of highway embankment, resulting a designer receives soil skeleton density and its deformation module in each layer are established. **Practical value.** The optimum silty loam moisture for their layered compaction depending on the project soil skeleton density value within the embankment and plasticity number is determined.

*Keywords:* clay soil; highway embankment; soil skeleton density; soil compaction; FEM modeling

#### Introduction

From the analysis of recent studies [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] author [1, 3], in particular, found that the finite elements method (FEM) is well suited for tasks with substantial strength properties heterogeneity. Compared with variational methods algorithmic it is more flexible in describing the geometry and boundary conditions, physically obvious, universal.

#### Purpose

FEM spatial tasks decisions using elastic-plastic soil models show the possibility of correct soil compaction modeling, but unresolved is the item of testing these solutions for clay soils compaction process modeling being a part of highway embankment by the condition of their long-term

strength ensuring, which was the purpose of the work.

#### Methodology

To simulate the process of layered clay soils compaction being a part of highway embankment, it is used well tested software package «PRIZ-Pile», which was created by author [1] and S. F. Klovanych, which implemented the FEM-stepping iterative methods axisymmetrical task of physically and geometrically nonlinear statement with representation of soil isotropic or orthotropic environment [1, 4].

Application of eight-node isoparametric axisymmetrical finite elements with properties to significantly change the shape and volume, allows to use both rectangular and curved finite element mesh, and taking into account of these changes –

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

determination the displacements, stresses and these soil properties at each step of bases placement and load. Their construction modeling is to assign displacement of finite element mesh nodes with strain-stress state (SSS) panel assessment.

To simulate the compaction process by clay soils ramming it is enough to use only the first phase of «compression task» of «PRIZ-Pile» program complex.

At this stage the compaction process of clay soils layers in subgrade is modeling. The compaction influence is set in a forced vertical displacement of finite element mesh nodes, that lie at the upper limit of estimated area, what simulates soil roller displacement process. These movements lead to the finite elements volume reduction, and therefore, soil porosity reducing and its deformation modulus and strength increasing.

Since the forced displacement commensurate with the finite elements size, at each step it is adjusted the original design model specification units coordinate considering displacements, obtained in the previous step. With the coordinates change the finite elements volumes are changing, makes it possible to clarify the deformation modulus value of soil in each finite element by formula (1) for compression tests under the ramming regime.

Void volume ratio at each finite element in this case is

$$e_i = e_o - (1 + e_o)(1 - V_i/V_o). \quad (1)$$

The result of the first stage (and, if necessary, and each of its steps) are new coordinates of the finite elements nodes, reduced soil properties (frequent  $\rho_d$ ,  $e$ ,  $E$ ), finite elements mesh nodes displacement, stresses, particularly vertical (isobars  $\sigma_z$ ) and radial (thrust  $\sigma_r$ ) that presented in the tables form, graphs, contours.

Calculation of the first stage linked to stepped task solving on the given displacement and doing by the deform scheme at every step. At that, as a rule, the significant change of finite elements is taking place, what can leads to finite element degeneration («coordinate transformation jacobian becomes non-positive»).

To avoid this nodes displacement it is setting no more than multiplication value of finite element size and soil porosity in it or appropriately selected finite elements size. If you still need the calculation on a larger displacement they're to setting by step parts, the number of what is specified in the control data.

Axisymmetrical estimated area task of clay soils layers ramming modeling in highway embankment – a cylinder (Fig. 1, a), what was obtaining by rectangular settlement area inversion (Fig. 1, b) around the symmetry axis OA.

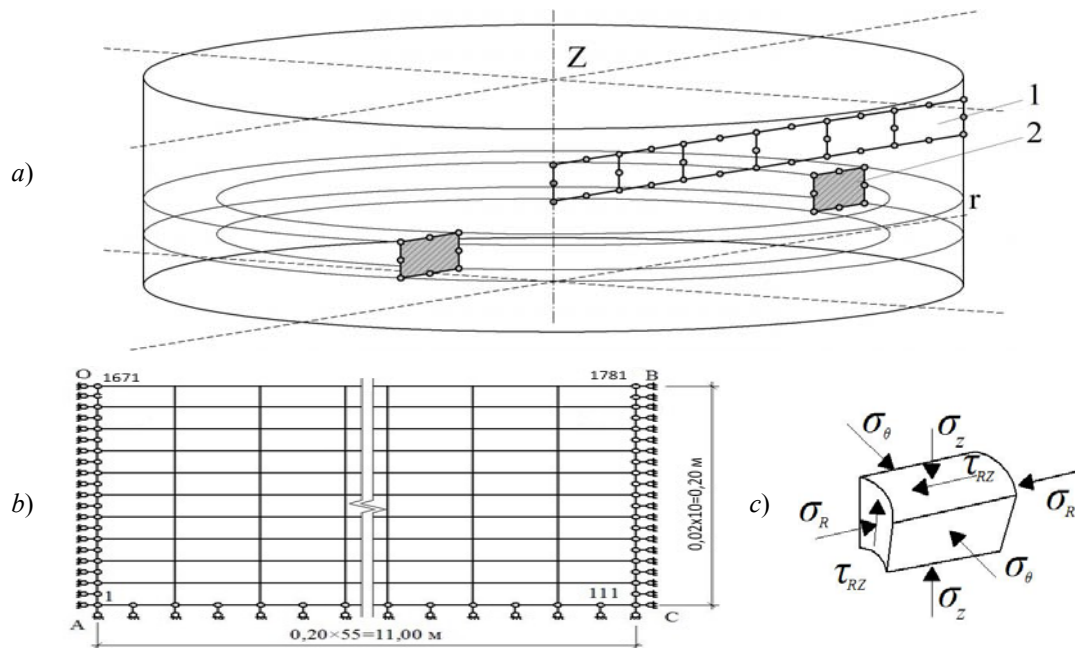


Fig. 1. Initial estimated area of axisymmetric task in a cylinder form:  
a – calculated area; b – rectangular calculation area; c – stress components;  
1 – calculation area division segment; 2 – finite element

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Settlement area sizes for this task is set as follows:

- lateral boundaries OA and BC respectively taken on the axis symmetry and a sufficient distance from the forced displacement to minimize the impact of conditions to avoid the horizontal displacement, stress concentration and soil compaction in contact with calculated area outer limit. For this condition completion in the task of soil compaction by roller settlement area diameter should be accept no less than  $10b$ , where  $b$  – the drum roller length;

- upper (horizontal) limit OB is placed at the layer surface of banking soil before its ramming;

- the first modeling stage the lower horizontal boundary AC it is accepted the roof of already compacted soil layer;

- the second modeling stage the lower horizontal boundary AC should be in layer, what doesn't have special properties and is suitable as a natural basis; the compressed thickness lower boundary is accepted as the depth of estimated area according to appendix D DBN B.2.1-10-2009 [2].

Sequentially numbered nodes and finite elements are adopted. They are numbered, starting with the lower finite element and the axis of symmetry. The finite elements dimensions is taken mainly to the value of forced displacement in the first modeling stage. Of course finite element mesh is thickened (reducing their size) in areas where the first phase provided the largest forced displacement (and hence a significant change in physical and mechanical soil characteristics and SSS array), and the second – the soil displacement and stress concentration in it.

Following the appointment of settlement area size and dividing it into finite elements boundary conditions, corresponding to natural conditions development and work of bases and foundations under the load is setting, namely all nodes that located at the lower boundary of AC, firmly fixed; lateral units limit OA and BC can not have horizontal displacement, except those units that at the first stage forced displacement is setting and that are close to the last (usually they are lying on axis OA).

As a result of the first stage calculations nodal points displacements are finding, new deformed scheme coordinate nodes, strains, stresses, given soil skeleton density value, deformation modulus and other characteristics of each finite element, modified by reducing of its volume.

From the previous experience [1] solutions reliability, obtained by FEM modeling for the software package «PRIZ-Pile», provided by the finite elements form and properties, settlement area shape and size, by selecting the appropriate settlement FEM schemes of soils subgrade layers ramming, model compliance parameters to the actual soil condition at its construction.

As initial it is used the data of compacted clay soil layer by layer highway embankment erection at the object «Khrestyshchenske GCD construction, Khrestyshchenske BCS reconstruction».

In particular, numerical experiment with the impact on the average of clay soil skeleton density in each compacted layer three technological factors is planned:

- initial clay soil skeleton density within the layer after its dumping and leveling  $\rho_{d,0}$ ;

- initial thickness of filled and planned to horizontal level subgrade by grader or bulldozer layer;

- reduction of each clay soil layer surface under the smooth roller  $\Delta h$ .

According to field research it is assumed that the optimal passes number of smooth self-propelled pneumatic roller HammHD 150 TT by the one track was 14.

When modeling clay soil layer ramming the original design scheme is adopted, what comprising 550 finite elements ( $55 \times 10$ ), 1781 finite elements mesh nodes, of which 151 – fixed.

### Findings

As a result of numerical simulation three-factors analysis of the impact on the skeleton density average value in the compacted soil layer (respectively  $\rho_d$ ,  $t/m^3$ ) technological factors was performed:

- 1) initial clay soil skeleton density within the layer after its dumping and leveling (in the experiments  $\rho_d = 1,30 t/m^3; 1,35 t/m^3; 1,40 t/m^3$ );

- 2) initial thickness of filled and planned to horizontal level subgrade by grader or bulldozer layer  $h$  (in the experiments –  $h = 0,15 m; 0,20 m; 0,25 m$ );

- 3) reduction of each clay soil layer surface under the smooth roller  $\Delta h$  (in the experiments –  $\Delta h = 0,02 m; 0,03 m; 0,04 m$ ).

Therefore, the finite elements size in experiments is  $200 \times 15 mm$ ,  $200 \times 20 mm$  and  $200 \times 25 mm$ .

According rectangular creating size calculation area (look Fig. 1, *b*) was  $11,0 \times 0,15 m$ ,  $11,0 \times 0,20 m$  and  $11,0 \times 0,25 m$ .

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Laying, already compacted, layer cap is taken as incompressible. Forced vertical displacement is setting to all nodal points of the calculated area upper limit (condition of «compression problem»). In particular, 111 units (from 1671 to 1781) vertical displacement is setting in the value  $\Delta h = 15$  mm, 20 mm (look Fig. 1, *b*) and 25 mm.

Thus, the total experiments number composed  $n=27$ . For further analysis it was accepted only 14 results of numerical simulation in which real values of clay soil skeleton density in each compacted layer  $\rho_d = 1,55 \dots 1,75$  t/m<sup>3</sup> is obtained. As a result of three-factors analysis the following equation of the relationship between clay soil skeleton density in each compacted layer  $\rho_d$  and the initial clay soil skeleton density within the layer after its dumping and leveling  $\rho_{d,0}$ , the initial thickness of filled and planned to horizontal level subgrade by grader or bulldozer layer  $h$ , reduction of each clay soil layer surface under the smooth roller  $\Delta h$ :

$$\rho_d = a_0 + a_1 \cdot \rho_{d,0} + a_2 \cdot h + a_3 \cdot \Delta h, \quad (2)$$

where are  $a_0 = 0,4716$  t/m<sup>3</sup>;  $a_1 = 0,8703$ ;  $a_2 = -1,4648$  t/m<sup>4</sup>;  $a_3 = 8,5459$  t/m<sup>4</sup> – empirical coefficients of equation (2).

For equation (2) multiple correlation coefficient is  $r=0,9279$ , and Fisher's ratio test  $F = 7,1976$ , what more than its table-valued  $F_{table} \approx 2,65$  at test significance  $p = 5\%$  and the degree of freedom  $\nu_1 = 13$  and  $\nu_2 = 10$ . So, equation (1) is completely correct. Relative deviation of simulated values  $\rho_d$  comparatively with field experiments does not exceed 2,24 %.

### Scientific novelty and practical importance

New correct conditions of FEM modeling in physically and geometrically nonlinear statement the process of layered clay soils compaction being a part of highway embankment, resulting a designer receives soil skeleton density and its deformation module in each layer are established. The optimum silty loam moisture for their layered compaction depending on the project soil skeleton density value within the embankment and plasticity number is determined.

### Conclusions

So, new correct conditions of modeling the process of layered clay soils compaction being a

part of highway embankment using the possibilities of task class «The soil work without the possibility of its lateral displacement from the working body or foundation» for the elastic-plastic phenomenological model of soil by the conditions of FEM axisymmetrical version in physically and geometrically nonlinear formulation, resulting a designer receives soil skeleton density and its deformation module in each layer.

With high statistical indicators values the empirical equation of the relationship between clay soil skeleton density in each compacted layer and the initial clay soil skeleton density within the layer after its dumping and leveling, initial thickness of filled and planned to horizontal level subgrade by grader or bulldozer layer, reduction of each clay soil layer surface under the smooth roller is obtained.

### REFERENCES

1. Винников, Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі [Текст] : монографія / Ю. Л. Винников. – Полтава : ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2016. – 280 с.
2. ДБН В.2.1-10:2009. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування [Текст]. – Надано чинності 2009-01-07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.
3. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти [Текст] : підручник / М. Л. Зоценко та ін. – Полтава : ПНТУ, 2004. – 568 с.
4. Клованич, С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики [Текст] / С. Ф. Клованич – Запорожье : «ИПО «Запорожье». – 2009. – 400 с.
5. Косточка, Н. А. Прогноз деформацій основ на базі компресійних випробувань ґрунтів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.02 / Н. А. Косточка. – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – 22 с.
6. Лобачева, Н. Г. Изменение расчетных параметров грунта основания при использовании метода уплотняющих давлений [Текст] / Н. Г. Лобачева, А. А. Петраков // Строительные конструкции : Межвед. науч.-техн. сб. – Киев : НИИСК, 2004. – Вып. 61. – Т. 2. – С. 59-63.
7. Лопан, Р. М. Взаємозв'язок фізико-механічних характеристик ґрунтів піщаних подушок з параметрами їх укочування [Текст] : Автореф. дис. ... техн. наук: 05.23.02 / Р. М. Лопан. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 24 с.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

8. Парамонов, В. Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники [Текст] / В. Н. Парамонов. – Санкт-Петербург : Группа компаний «Геореконструкция», 2012. – 264 с.
9. Tsitsas G., Dimitriadi V., Zekkos D. and al. Dynamic compaction of collapsible soils – case study from a motorway project in Romania. Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Edinburg, 2015, pp. 1487-1492.
10. Fu Z. Y., Jaksa M. B., Deng A. Quantifying the influence depth of dynamic compaction using the discrete element method. Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Edinburg, 2015, pp. 3851-3856.
11. Kelm M., Grabe J. FE-simulation of soil compaction. Proc. XIIIth European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Prague, 2003, Vol. 1, pp. 739-742.
12. Edip K., Garevski M., Sheshov V., Bojadjeva J. Numerical simulation of consolidation problem. Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Edinburg, 2015, pp. 3847-3850.
13. Pak A., Shahir H., Ghassemi A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction. Proc. 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Osaka, 2005, pp. 1245-1248.
14. Zotsenko M., Vynnykov Y. Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method. Active Geotechnical Design in Infrastructure Development. Proc. of the XIIIth Danube-European Conf. on Geotechnical Engineering. Ljubljana, 2006, Vol. 2, pp. 385-390.

Ю. Л. ВИННИКОВ<sup>1</sup>, Т. В. ЛИТВИНЕНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Кафедра «Автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель», Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, проспект Першотравневий, 24, Полтава, Україна, 36011, тел. +38 (099) 292 96 94, ел. пошта vynnykov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2164-9936

<sup>2\*</sup> Кафедра «Автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель», Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, проспект Першотравневий, 24, Полтава, Україна, 36011, тел. +38 (099) 413 59 99, ел. пошта tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru, ORCID 0000-0002-4747-3353

## КОРЕКТНІ УМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ МСЕ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ У СКЛАДІ ДОРОЖНІХ НАСИПІВ

**Мета.** Рішення просторових задач методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням пружно-пластичних моделей ґрунту доводять можливість коректного моделювання його ущільнення, але невирішеним поки є питання апробації цих рішень для моделювання процесу ущільнення глинистих ґрунтів у складі дорожнього насипу за умови забезпечення їх тривалої міцності. **Методика.** Для моделювання процесу пошарового ущільнення глинистих ґрунтів у складі дорожнього насипу використано добре апробований програмний комплекс «PRIZ-Pile», у якому реалізоване рішення вісесиметричної задачі МСЕ кроково-ітераційними методами у фізично й геометрично нелінійній постановці з представленням ґрунту ізотропним чи ортотропним середовищем. **Результати.** Після чисельного моделювання було виконано трьохчинниковий аналіз впливу на середнє значення щільності скелету ґрунту в ущільненому шарі початкової щільності скелету глинистого ґрунту в межах шару після його відсипання та розрівнювання, початкової товщини відсипаного та спланованого до горизонтального рівня ЗП грейдером чи бульдозером шару, зниження поверхні цього шару ґрунту під котком. З високими значеннями статистичних показників отримано емпіричне рівняння взаємозв'язку між щільністю скелету глинистого ґрунту в кожному ущільненому шарі та вказаними вище показниками. **Наукова новизна.** Встановлено нові коректні умови моделювання МСЕ у фізично та геометрично нелінійній постановках процесу пошарового ущільнення глинистих ґрунтів у складі дорожніх насипів, за якими проектувальник отримує щільність скелету ґрунту та модуль його деформації. **Практична значимість.** Визначено оптимальну вологість пилюватих суглинків для їх пошарового ущільнення в залежності від проектної величини щільності скелета ґрунту в межах дорожнього насипу та числа пластичності ґрунту.

*Ключові слова:* глинисті ґрунти; дорожній насип; щільність скелету ґрунту; ущільнення ґрунтів; моделювання МСЕ

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Ю. Л. ВИННИКОВ<sup>1</sup>, Т. В. ЛИТВИНЕНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра «Автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий», Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, проспект Первомайский, 24, Полтава, Украина, 36011, тел. +38 (099) 292 96 94, эл. почта vunnykov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2164-9936

<sup>2\*</sup> Кафедра «Автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий», Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, проспект Первомайский, 24, Полтава, Украина, 36011, тел. +38 (099) 413 59 99, эл. почта tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru, ORCID 0000-0002-4747-3353

## КОРРЕКТНЫЕ УСЛОВИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МКЭ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СОСТАВЕ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ

**Цель.** Решение пространственных задач методом конечных элементов (МКЭ) с использованием упруго-пластических моделей грунта доказывает возможность корректного моделирования его уплотнения, но нерешенным пока является вопрос апробации этих решений для моделирования процесса уплотнения глинистых грунтов в составе дорожной насыпи при условии обеспечения их длительной прочности. **Методика.** Для моделирования процесса послойного уплотнения глинистых грунтов в составе дорожной насыпи использован хорошо апробированный программный комплекс «PRIZ-Pile», в котором реализовано решение осесимметрической задачи МКЭ шагово-итерационными методами в физически и геометрически нелинейной постановке с представлением грунта изотропной или ортотропной средой. **Результаты.** После численного моделирования был выполнен трехфакторный анализ влияния на среднее значение плотности скелета грунта в уплотненном слое начальной плотности скелета глинистого грунта в пределах слоя после его отсыпания и разравнивания, начальной толщины отсыпанного и спланированного к горизонтальному уровню ЗП грейдера или бульдозера слоя, снижения поверхности этого слоя грунта под катком. С высокими значениями статистических показателей получено эмпирическое уравнение взаимосвязи между плотностью скелета глинистого грунта в каждом уплотненном слое и указанными выше показателями. **Научная новизна.** Установлены новые корректные условия моделирования МКЭ в физически и геометрически нелинейной постановке процесса послойного уплотнения глинистых грунтов в составе дорожных насыпей, по которым проектировщик получает плотность скелету грунта и модуль его деформации. **Практическая значимость.** Определена оптимальная влажность пилеватых суглинков для их послойного уплотнения в зависимости от проектной величины плотности скелета грунта в пределах дорожной насыпи и числа пластичности грунта.

**Ключевые слова:** глинистые грунты; дорожная насыпь; плотность скелета грунта; уплотнение грунтов; моделирование МКЭ

### REFERENCES

1. Vynnykov Ju. L. *Matematychni modeljuvannja vzajemodiji fundamentiv z ushhiljnenymy osnovamy pry jikh zvedenni ta nastupnij roboti* [Mathematical design of co-operation of foundations with compact bases at their report and following work]. Poltava, PoltNTU imeni Jurija Kondratjuka, 2016. 280 p.
2. *DBN V.2.1-10-2009. Obyekty budivnytstva ta promyslova produktsiya budivelnogo pryznachennya. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennya proektuvannya.* [State Standard V.2.1-10-2009. Objects of construction and industrial products for construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. Bases and foundations of buildings. Basic design requirements], Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 107 p.
3. *Inzhenerna gheologhija. Mekhanika gruntiv, osnovy i fundamenty* [Mechanics of soils, bases and foundations]. Poltava, PNTU, 2004. 568 p.
4. Klovanich S.F. *Metod konechnykh elementov v nelineynykh zadachakh inzhenernoy mekhaniki* [Finite elements method in the nonlinear tasks of engineering mechanics]. Zaporozhe, IPO «Zaporozhe», 2009. 400 p.
5. Kostochka N. A. *Proghnoz deformacij osnov na bazi kompresijnykh vyprobuvanj gruntiv.* Avtoreferat Diss. [Prognosis of bases deformations on the base of compression tests of soils Author's abstract.]. Poltava, 2015. 22 p.
6. Lobacheva N. G., Petrakov A. A. *Izmenenie raschetnykh parametrov grunta osnovaniya pri ispolzovanii metoda uplotnyayushchikh davleniy* [Change of calculation parameters of foundation soil at the use of making method of the compact pressures]. *Stroitelnye konstruksii* [Building constructions], 2004, issue 61, Vol. 2, pp. 59-63.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

7. Lopan R. M. *Vzajemov'jazok fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk gruntiv pishhanykh podushok z parametramy jikh ukochuvannja*. Avtoreferat Diss. [Intercommunication of physical and mechanical descriptions of sandy pillows soils with the parameters of their rolling Author's abstract.]. Odesa, 2012. 24 p.
8. Paramonov V. N. *Metod konechnykh elementov pri reshenii nelineynykh zadach geotekhniki* [Finite elements method at the decision of nonlinear geotechnical tasks]. Saint Petersburg, Company's Group «Georekonstruktsiya», 2012. 264 p.
9. Tsitsas G., Dimitriadi V., Zekkos D. and al. Dynamic compaction of collapsible soils – case study from a motorway project in Romania. *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg, 2015, pp. 1487-1492.
10. Fu Z. Y., Jaksa M. B., Deng A. Quantifying the influence depth of dynamic compaction using the discrete element method. *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg, 2015, pp. 3851-3856.
11. Kelm M., Grabe J. FE-simulation of soil compaction. *Proc. XIIIth European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Prague, 2003, Vol. 1, pp. 739-742.
12. Edip K., Garevski M., Sheshov V., Bojadjeva J. Numerical simulation of consolidation problem. *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg, 2015, pp. 3847-3850.
13. Pak A., Shahir H., Ghassemi A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction. *Proc. 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Osaka, 2005, pp. 1245-1248.
14. Zotsenko M., Vynnykov Y. Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method. *Active Geotechnical Design in Infrastructure Development. Proc. of the XIIIth Danube-European Conf. on Geotechnical Engineering*. Ljubljana, 2006, Vol. 2, pp. 385-390

*Prof. V. D. Petrenko, Dr. Sc (Technical, Ukraine) and prof. Tiutkin O. L., Dr. Sc (Technical, Ukraine) recommended this article to be published.*

Received: Sept. 01, 2016.

Accepted: Sept. 26, 2016.