

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 624. 15

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).194-200](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).194-200)**Iryna Karpiuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine**e-mail: irina.carpyuk@gmail.com***Vasyl Karpiuk**, Prof., DSc.*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine**e-mail: v.karpiuk@ukr.net***Surface Subsidence Ground During Tunnel Construction**

The cross-sectional area of the tunnel, fortified with a rim, is always smaller than the excavation area in the ground. Exact methods are still very arbitrary and need to be improved. The article presents the results of calculating the internal force factors of a monolithic reinforced concrete frame of a vaulted tunnel. The data obtained in the calculation of the PC "PLAXIS-8".

vaulted tunnel, frame, general and additional precipitation of the earth's surface, mathematical models**И.А. Карпюк**, доц., канд. техн. наук*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина***В.М. Карпюк**, проф., д-р техн. наук*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина***Осадка поверхности земли в процессе строительства тоннелей**

Площадь поперечного сечения тоннеля, подкрепленного оправой, всегда меньше площади выемки в почве. Точные методы носят пока весьма условный характер и нуждаются в совершенствовании. В статье приведены результаты расчета внутренних силовых факторов монолитной железобетонной оправы сводчатого тоннеля. Данные получены при расчете ПК «PLAXIS-8».

сводчатый туннель, каркас, общие и дополнительные осадки земной поверхности, математические модели

Statement of the problem. When constructing an underground structure - a tunnel of deep location in the soils of medium strength, excavation of the soil is carried out by a throughput combine and the device, thereafter, the rim of the tunnel. experience shows that the cross-sectional area of the tunnel supported by the rim is always less than the area of the excavation in the ground. Although measures are being taken by the builders to fill these gaps, it is still impossible to avoid the redistribution of stresses and deformations of the soil during its construction. In order to avoid negative consequences, damage to existing buildings and foundations on the surface of the earth, it is necessary, on the one hand, to determine the natural, additional and general precipitation of its individual points, to predict these effects and to determine the internal forces in the tunnel frames, and on the other hand, to take the appropriate effective measures [1]. Such an analysis can be performed both analytically and numerically, including using the PLAXIS-8 software package [2 - 4]. Exact methods are rather conditional in nature and need to be refined.

Statement of the objective. Numerical experiments to study the interaction of soil foundations of pile foundations and the foundation slab of a building with vaulted rims of tunnels (Fig. 1) were performed using the mathematical theory of experiment planning. It makes it possible to theoretically justify the minimum required number and composition of numerical experiments to obtain sufficiently complete information on the qualitative and quantitative influence of the research factors on the output parameters, both in particular and in their interaction.

The main material. Based on the analysis of available a priori information from literary sources [5] and taking into account the actual soil layers of the base of the southern region of Ukraine [6, 7], the following factors were selected as research (Table 1): nominal flow of the tunnel rim (X_1), groundwater level (origin of coordinates (Fig. 1) from the soil surface along the Y axis, factor X_2), the type of soil conditions typical for the southern region of Ukraine is layered (X_3), which integrally takes into account the influence of the soil specific gravity (γ_{unsat} або γ_{sat}), the coefficients of horizontal (k_x) and vertical (k_y) filtration (permeability), Young's modulus (deformations, E_{ref}), Poisson's coefficient (ν), coupling (c_{ref}), internal friction angle (φ) and dilatancy ψ of the soil, as well as its elastic resistance coefficient (K) by the formula:

$$T_{\text{red},j} = \sum_{i=1}^n (\gamma_{\text{sat},i} k_{x,i} k_{y,i} E_{\text{ref},i} \nu_i c_{\text{ref},i} \varphi_i \psi_i K_i) h_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (1)$$

where $\gamma_{\text{sat},i}$ - is the specific gravity of the water-saturated i-th layer of soil, varies within 18,0 ... 21,5 kN / m³;

$k_{y,i}$ - coefficient of horizontal permeability (filtration) of the i-th layer of soil, varies in the range from 0.01 to 1.60 m per day.;

$E_{\text{ref},i}$ - Young's modulus (deformation) of the i-th layer of soil, varies in the range from 1000 to 5000 kN / m²;

ν_i - is the Poisson's coefficient of the i-th layer of soil, varies within 0.26 ... 0.38;

$c_{\text{ref},i}$ - adhesion of the i-th layer of soil, varies in the range from 0.2 to 1400 kN / m²;

The soil massif characteristic of the southern region of Ukraine indicates the presence of four different layers. The top layer with a capacity of 13m consists of loess loam.

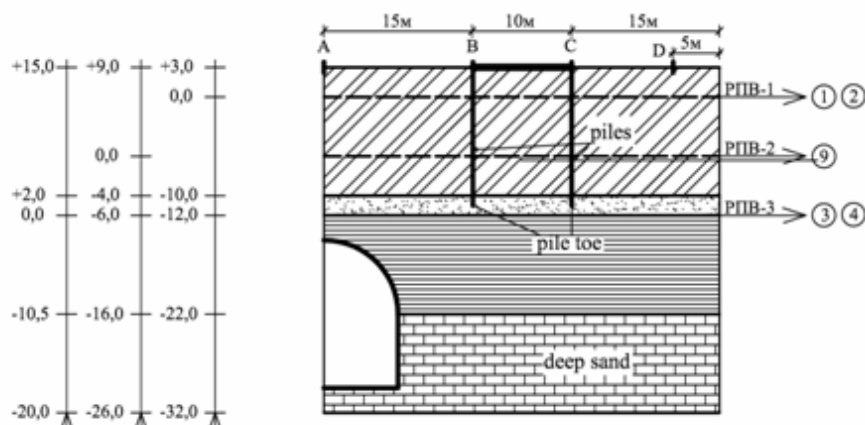


Figure 1 – Geometry of the cryptic part of the tunnel with a nominal span of 15 m, found by the Earth and the waters of the underground for the Odessa region in a numerical experiment

Source: obtained by authors

Below it lies a layer of fine-grained sand with a capacity of 2.0 m, in which, piles of an old building - a monument of architecture and town-planning are buried. The displacement and precipitation of these piles can cause damage to the monument building, which is highly undesirable. Below the sand layer is a layer of red-brown loams and clays with a capacity of 5.0, respectively; 7.5 and 10.0 m. This is one of the layers in which the tunnel is constructed. The other part of the tunnel is located in the limestone-shell layer of the Pontic tier with the inclusions of recrystallized limestone shell in the roof.

This lower depth layer is rigid enough. Therefore, only 5 m of this layer is included in the finite element model. And the lower part of the base of the tunnel is regarded as absolutely rigid and is modeled by the corresponding boundary conditions.

Distribution of pore water pressure. is assumed to be hydrostatic. The groundwater level can be located 3.9 and 15 m below the surface of the earth (at the notation zero: $y=0$).

Since the tunnel rim and soil layers are more or less symmetrical with respect to the vertical axis of the tunnel, in this model of flat deformation we consider only one (right) half of the rim and soil of the base. From the center of the tunnel, the model extends 30, 35 and 40 m horizontally.

Table 1 – Experimental factors and levels of their change

Factors		Equal changes			Change interval
Natural look	The coded view	«-1»	«0»	«+1»	
Flying the tunnel, L , м	X_1	5	10	15	5м
Groundwater level (the origin of coordinates from the daily surface of the soil), $T_{op,i}$, м	X_2	+15 ($T_{op,1}$; РІВ-3)	+9 ($T_{op,2}$; РІВ-2)	+3 ($T_{op,3}$; РІВ-1)	6м
The type of soil conditions is given, $T_{red,j}$, [кН ⁴ град ² /(М ⁷ добу ²)]	X_3	226000 ($T_{red,1}$)	435000 ($T_{red,2}$)	644000 ($T_{red,3}$)	209000 кН ⁴ град ² / (М ⁷ добу ²)

Source: obtained by authors

Analysis of mathematical models of extreme bending moments, transverse and longitudinal forces in the rims of vaulted tunnels in order to minimize them

According to the adopted plan, the PLAXIS-8 software package implemented a numerical experiment in 15 basic experiments (points) and one additional, 16th, with a 4-fold increased load from the building located on the surface with the replacement of wooden piles in it with reinforced concrete without changes in their step.

As a result of processing the data obtained in a numerical experiment, extracting insignificant and recalculating those coefficients that remained with the help of the effective COMPREX computer program developed under the guidance of prof. Voznesensky V.A., obtained adequate mathematical models of initial, general and additional sediment (shifts) of the earth's surface above a mine working (2, 6), under the building - an architectural monument (3, 4, 7, 8) and at a distance of 10 m from it. In particular, the general subsidence of the earth's surface at these points can be characterized using the following expressions:

$$\hat{Y}(\Delta y_A) = 101 + 36X_1 + 10X_2 - 5X_3 - 30X_1^2, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (2)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_B) = 94 + 47X_1 + 21X_2 - 9X_3 + 7X_1^2 - 12X_2^2 + 8X_3^2 + 11X_1X_2 - 6X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (3)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_C) = 21 + 41X_1 + 21X_2 - 8X_3 + 19X_1^2 + 9X_2^2 + 5X_3^2 + 18X_1X_2 - 6X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 26\%; \quad (4)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_D) = 22 + 35X_1 + 12X_2 - 7X_3 + 28X_1^2 - 3X_2^2 - 7X_3^2 + 9X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 21\%; \quad (5)$$

Additional sediment(shift) of the earth's surface at these points, due to the excavation of workings under vaulted tunnels and their finishing, can be represented by the following relationships:

$$\hat{Y}(\Delta y_A) = 51 + 36X_1 + 6X_2 - 3X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 6\%; \quad (6)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_B) = 63 + 44X_1 + 26X_2 - 2X_3 + 6X_1^2 - 5X_2^2 - 2X_3^2 + 12X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (7)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_C) = 41 + 35X_1 + 26X_2 - 3X_3 + 20X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 10\%; \quad (8)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_D) = 26 + 22X_1 + 14X_2 - 2X_3 + 11X_1X_2 - 4X_1X_3 - 3X_2X_3, \text{мм}, \quad \nu = 9\%. \quad (9)$$

A geometric interpretation of the presented models can be presented in Fig. 2, 3

With the average values of all research factors, the total subsidence of the earth's surface above the mine (t. A), near and near (t. C) facades from it, and also at a distance from it (t. D) are respectively, 101mm, 94mm, 21 and 22mm. Moreover, the sediment of all points

with respect to their average values increases (Fig. 3) along the entire front, respectively, by 71, 100, 390 and 318% with an increase in the span of the vaulted workings. A similar effect on the general subsidence has a groundwater level. With its increase from 15 to 3 m to the daytime surface of the land sediment, its points along the specified profile are 20, 45, 200 and 109 mm.

With the deterioration of the type of soil conditions from $644 \cdot 103$ to $226 \cdot 103$, the total subsidence of the earth's surface increases by 10, 19, 76 and 64%. Most research factors have a nonlinear effect on the general subsidence of the earth's surface, and also interact with each other.

The dependence of additional sediment(shifts) of the earth's surface (Fig. 2) on these factors is more ordered. In particular, additional sediment of the earth's surface above points A, B, C, D, caused by an increase in the spans of underground vaulted workings from 5 to 15 m, increases by 141, 140, 140 and 169%, respectively, with an increase in the level of groundwater from 15 to 3 m to the surface of the earth by 24, 83, 127 by 108%, with the deterioration of soil conditions from $644 \cdot 103$ to $226 \cdot 103$ - from 6 to 15%, while increasing the span of the arch and the level of groundwater to 90% while increasing the span of the arch and deterioration of the type of soil conditions - by 12 - 24% throughout the profile.

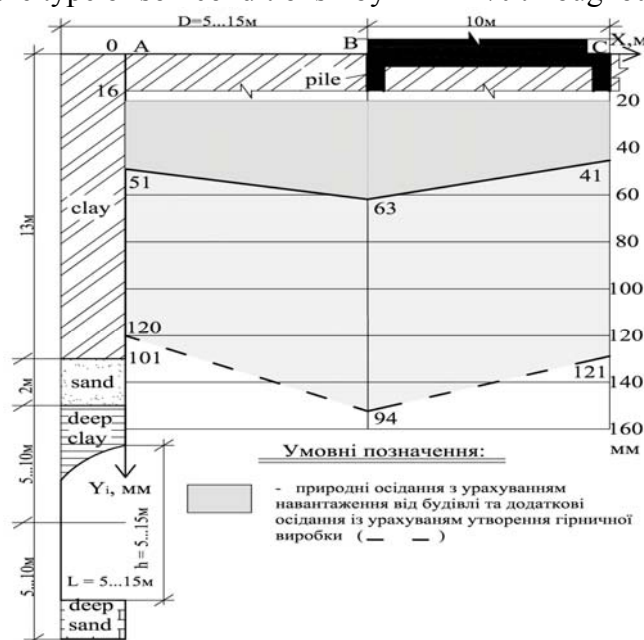


Figure 2 – Average natural and additional sediment(shift) of the earth's surface, taking into account the formation of underground workings in a loaded base (experiment No. 15)

Source: obtained by authors

The above mathematical models (2) ... (9) are conveniently used to assess the influence of one or another factor, in particular, and in interaction with each other on the total and additional precipitation (shifts) of the earth's surface at characteristic points, as well as for solving optimization problems in which sufficiently mathematically sound stochastic dependencies of the parameters considered from the indicated research factors are used.

A four-fold increase in the level of the evenly distributed load from the building to the right of the future tunnel (from $w = 25$ to $100 \text{ kNm} / \text{m}$), experience No. 16 will lead to a significant increase in the total and additional (from 2 to 3 times) land surface precipitation due to the construction of the vaulted the tunnel.

The proposed technique allows you to quickly determine the main and additional precipitation of the earth's surface without performing cumbersome calculations in the ground conditions of the southern region of Ukraine, as well as to predict possible negative consequences in the process of arranging tunnels.

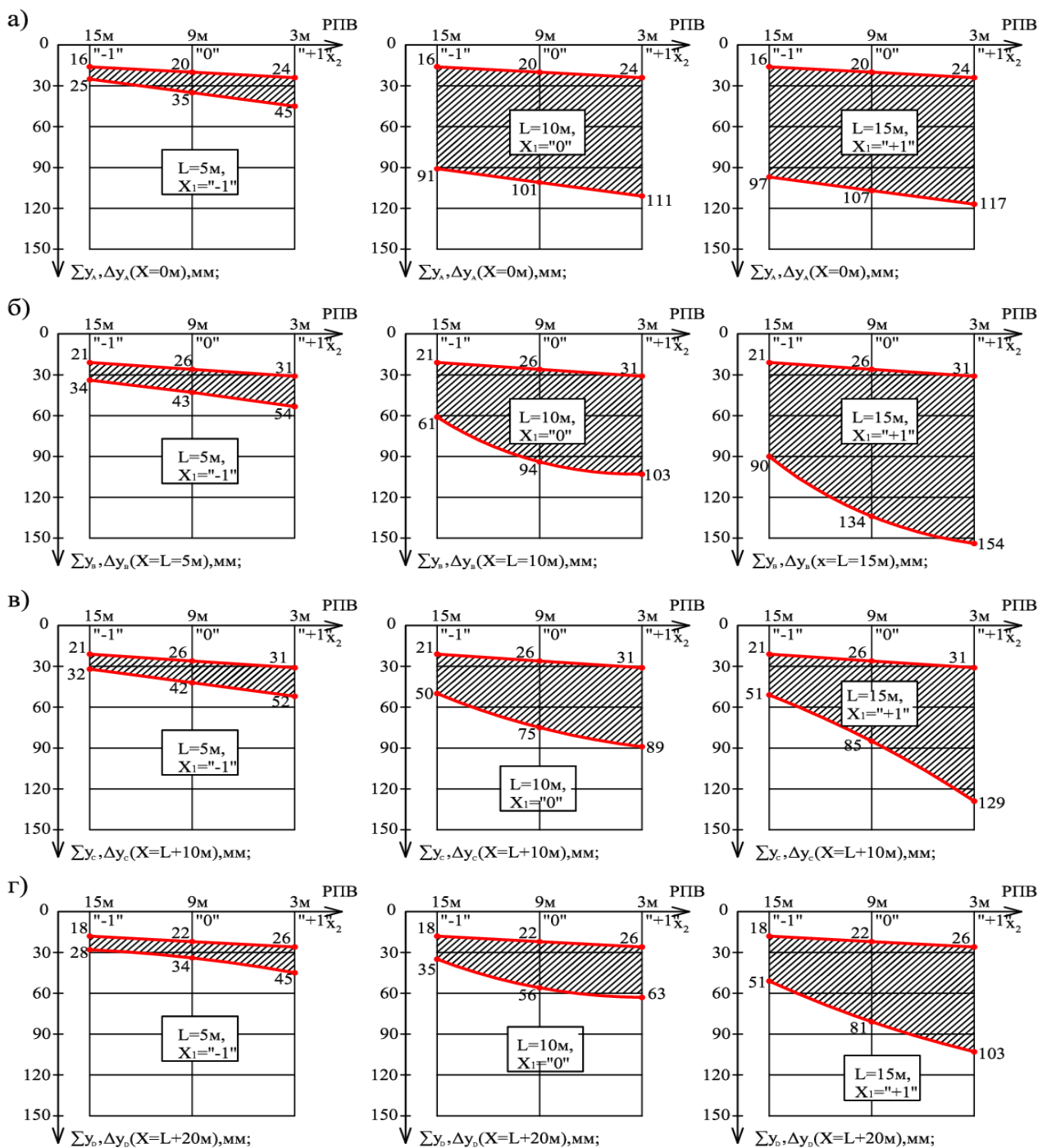


Figure 3 – Influence of arch span, groundwater level and soil conditions on the magnitude of the extreme values of bending moments (a, б), transverse forces (в, г) and compressive longitudinal forces (д)
 Source: obtained by authors

Conclusions. The above mathematical models (2) ... (9) are conveniently used to assess the influence of one or another factor, in particular, and in interaction with each other on the total and additional precipitation (shifts) of the earth's surface at characteristic points, as well as for solving optimization problems in which sufficiently mathematically sound stochastic dependencies of the parameters considered from the indicated research factors are used.

A four-fold increase in the level of the evenly distributed load from the building to the right of the future tunnel (from $w = 25$ to 100 kNm / m), experience No. 16 will lead to a significant increase in the total and additional (from 2 to 3 times) land surface precipitation due to the construction of the vaulted the tunnel.

The proposed technique allows you to quickly determine the main and additional precipitation of the earth's surface without performing cumbersome calculations in the ground conditions of the southern region of Ukraine, as well as to predict possible negative consequences in the process of arranging tunnels.

Список літератури

1. Gheorghe M., Armas I., Dumitru P., Calin A., Badescu O., Necsoiu M. Monitoring subway construction using Sentinel-1 data: a case study in Bucharest, Romania. *International Journal of Remote Sensing*. 2020. Т. 41, № 7. С. 2644-2663.
2. PLAXIS – инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов. *CADmaster*. 2002. № 3. С. 62-65.
3. Щекудов Е.В. Реализация современных расчетных методов при совершенствовании конструктивно-технологических решений подземных сооружений транспортного назначения. Технологии мира, 2011. 10 с.
4. Голубев А.И., Селецкий А.В. Программный комплекс PLAXIS – эффективный инструмент для геотехнических расчетов транспортных сооружений. *Дороги. Инновации в строительстве*. 2011. № 9. С. 58- 60.
5. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [2-е изд. испр. и доп.]. Москва: Финансы и статистика, 1981. 215 с.
6. Карпюк І. А., Карпюк В. М. Нерівномірні осідання поверхні землі в процесі улаштування склепінчастих тунелів з урахуванням нашарувань ґрунтів південного регіону України. *Будівельні конструкції*. 2016. Вип. 83(1). С. 381-389.
7. Karpiuk V.M., Karpyuk I.A. Moving the earth's surface the formation of underground excavation in the bases loaded. Proceedings of the International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries". (Japan, Tokyo, 25 October 2014). Vol. II. "Tokyo University Press", 2014. P. 403-413.

References

1. Gheorghe, M., Armas, I., Dumitru, P., Calin, A., Badescu, O. & Necsoiu, M. (2020). Monitoring subway construction using Sentinel-1 data: a case study in Bucharest, Romania. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 41, 7, 2644-2663 [in English].
2. PLAXIS is a geotechnical engineering tool. Examples of calculations. *CADmaster*. (2002), 3, 62-65 [in Russian].
3. Schekudov, E.V. (2011). *Realizacija sovremennyh raschetnyh metodov pri sovershenstvovanii konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij podzemnyh sooruzhenij transportnogo naznachenija [The implementation of modern calculation methods for the improvement of structural and technological solutions of underground transport facilities]*. Tehnologii mira [in Russian].
4. Golubev, A.I. & Seletsky, A.V. (2011). Programmnyj kompleks PLAXIS – jeffektivnyj instrument dlja geotnicheskikh raschetov transportnyh sooruzhenij [The software complex PLAXIS - an effective tool for geotechnical calculations of transport structures]. *Dorogi. Innovacii v stroitel'stve Roads – Innovations in construction*, 9, 58-60 [in Russian].
5. Voznesensky, V.A. (1981). Statistical methods of designing an experiment in technical and economic research. (2nd ed.) . Moskow: Finance and Statistics [in Russian].
6. Karpyuk, I.A. & Karpiuk, V.M. (2016). Nerivnomirmi osidannia poverkhni zemli v protsesi ulashtuvannia sklepinchastykh tuneliv z urakhuvanniam nasharuvan' gruntiv pivdennoho rehionu Ukrainy [Nonuniform settlements of the earth's surface in the process of arrangement of vaulted tunnels taking into account the soil layers of the southern region of Ukraine]. *Budivel'ni konstruksii – Building structures*, Vol. 83 (1), 381-389 [in Ukrainian].
7. Karpiuk V.M., Karpyuk I.A. (2014). Moving the earth's surface the formation of underground excavation in the bases loaded. Proceedings of the International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries". (Japan, Tokyo, 25 October 2014), Vol. II, "Tokyo University Press" [in English].

І.А. Карпюк, доц., канд. техн. наук, **В.М. Карпюк**, проф., д-р техн. наук
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м.Одеса, Україна

Осадка поверхні землі в процесі будівництва тунелів

При будівництві підземної споруди - тунелю глибокого розташування в ґрунтах середньої міцності здійснюється виймання ґрунту прохідницьким комбайном та влаштування, слідом за цим, оправи тунелю. Досвід показує, що площа поперечного перерізу тунелю, підкріпленого оправою, завжди

є меншою від площі зробленої виїмки в ґрунті. І хоча будівельниками приймаються заходи щодо заповнення цих шпарин, все ж не вдається уникнути перерозподілу напружень і деформацій ґрунту в ході його будівництва. З метою уникнення негативних наслідків, пошкоджень існуючих будівель і фундаментів на поверхні землі необхідно, з одного боку, визначати природні, додаткові і загальні осідання окремих її точок, прогнозувати ці ефекти і визначати внутрішні зусилля в оправах тунелів, а з іншого боку, приймати відповідні ефективні заходи.

Точні методи носять поки що досить умовний характер і потребують вдосконалення. В статі наведені результати розрахунку внутрішніх силових факторів монолітної залізобетонної оправи склепінчастого тунелю. Такий аналіз було виконано за допомогою програмного комплексу PLAXIS-8.

Числові експерименти по дослідженню взаємодії ґрунтів основи пальових фундаментів та фундаментної плити будівлі зі склепінчастою оправою тунелів виконані із застосуванням математичної теорії планування експерименту.

На підставі аналізу наявної апріорної інформації з літературних джерел і з урахуванням реальних нашарувань ґрунтів основи південного регіону України в якості дослідних обрані фактори: номінальний проліт склепінчастої оправи тунелю, рівень підземних вод, наведений тип ґрунтових умов характерного для південного регіону України нашарування, який інтегрально ураховує вплив питомої ваги ґрунту, коефіцієнтів горизонтальної та вертикальної фільтрації (проникності), модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона, зчеплення, кута внутрішнього тертя і ділатансії ґрунту, а також коефіцієнта його пружного відпору.

На основі розрахунків, представлені адекватні математичні моделі.

Математичні моделі зручно використовувати для оцінки впливу того чи іншого чинника, зокрема і у взаємодії один з одним, на сумарні і додаткові осідання (зрушення) земної поверхні в характерних точках, а також для вирішення завдань оптимізації в які досить математично обґрунтовані стохастическими залежностями параметрів, розглянутих із зазначених факторів дослідження.

Запропонована методика дозволяє швидко визначати основні і додаткові осідання земної поверхні без виконання громіздких розрахунків в ґрунтових умовах південного регіону України, а також прогнозувати можливі негативні наслідки в процесі влаштування тунелів.

склепінчастий тунель, каркас, загальні та додаткові опади земної поверхні, математичні моделі

Одержано (Received) 03.03.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 692.23:699.86

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).200-209](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209)

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **С.О Джирма**, доц., канд. техн. наук,

М.В. Пашинський, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: stas55871@ukr.net

Теплові характеристики вузлів примикання вікон до цегляних та залізобетонних стін цивільних будівель на території Кіровоградської області

Проаналізовані температурні поля вузлів бічного примикання металопластикових віконних блоків до стін житлових і громадських будівель, які зводилися в другій половині минулого століття, а також використовуються в сучасному цивільному будівництві. Моделювання за методом скінчених елементів дозволило визначити найменші температури поверхонь внутрішніх відкосів в кліматичних умовах Кіровоградської області. Для кожного з розглянутих вузлів перевірена можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін з урахуванням положення віконних блоків по товщині стіни.

зовнішні стіни, примикання вікон, температура поверхні, конденсат

© В.А. Пашинський, С.О Джирма, М.В. Пашинський, 2020