

УДК 625.8 / 539.3
UDC 625.8 / 539.3

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-012-020

CONSIDERATION THE RHEOLOGICAL PROPERTIES WHEN INVESTIGATING THE
HETEROGENEOUS BEHAVIOR OF A ROCK MASS IN TIME

ВРАХУВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПОВЕДІНКИ
НЕОДНОРІДНОГО ПОРОДНОГО МАСИВУ У ЧАСІ



Bondarenko Liudmyla P., Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: luda_bond@ukr.net, тел. +380442803942,

<https://orcid.org/0000-0002-8239-065X>



Liashenko Yana G., PhD in Physics and Mathematics, National Aviation University, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, e-mail: Ya_Lyashenko@ukr.net, тел. +380444067323

<https://orcid.org/0000-0002-7772-7879>



Balashova Yuliia Borisovna, candidate of science (technical), associate professor, associate professor of the department of highways, geodesy and land management at the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. e-mail: balashova.yuliia@pdaba.edu.ua, tel. +380507865446, Ukraine, 49600, Dnipro, 24-a, Architect Oleg Petrov St., of. 421.

<https://orcid.org/0000-0002-2286-9263>

Abstract. The paper is devoted to the solution of nowadays relevant issue regarding the scientific substantiation of the most effective methods of mining rocks for various needs of the national economy, including for the construction of highways. The research was carried out on the basis of mathematical modeling methods, taking into account the rheological properties of rocks, heterogeneity of their structure, microdamage and behavior of the rock massif over time. As part of the work, geological material consisting of an isotropic viscoelastic matrix with stochastically placed inclusions in different directions was considered. The change in the stress-strain state of rocks with viscoelastic properties and containing randomly placed inclusions is determined. Provided that the size of the body is much greater than the size of the microinhomogeneities, the area containing the environment is considered infinite. The mathematical model is constructed on the basis of the fact that when homogeneous loads interact on a statistically homogeneous body, the random fields of stresses and strains that arise are also statistically homogeneous, and therefore, volume averaging can be performed as statistical averaging. The derivation of the calculation formulas is connected with the setting of an explicit form of density distribution of inclusions by direction. Based on the constructed mathematical model, microstructural stresses were investigated, effective parameters were calculated, and their dependence on the shape, orientation, and volume concentration of inclusions was determined. In addition, as a particular case, a fractured environment is considered. Taking

into account such a significant heterogeneity of the geological rock and the presence of microdamages, the dependence of viscoelastic deformations on time and degree of damage was obtained. The obtained results make it possible to further evaluate the geomechanical situation, as well as to obtain the parameters of development systems for underground or open mining operations, which in turn will allow efficient mining of useful material.

Key words: rocks, rheological problem, stress-strain state, viscoelasticity operator, creep parameters.

Introduction. At nowadays, stone materials are one of the main building materials that are quite widely used in industrial and residential construction, hydraulic structures, and in the construction of highways and railways. So, for example, more than 13 thousand cubic meters of stone materials need to be spent to build 1 km of the II category road. At the same time, effective extraction and use of stone materials is not possible without scientific conclusions and justifications, which determines the relevance of corresponding scientific research. A comprehensive investigation of the mechanism and patterns of rock behavior will provide an opportunity to obtain knowledge that will allow, in specific mining and geological conditions, based on the initial data of geological exploration, to assess the geomechanical situation, as well as the parameters of development systems in underground or open mining operations, which in turn will allow effectively extract a useful component.

The development of the study of deformation processes of geological structures [1] is ensured, in particular, by the methods of mechanics of continuous heterogeneous environment [2]. Researching the mechanisms of accumulation of tectonic stresses, creep under constant loads, etc., are extremely important tasks. Indeed, under the influence of stresses, the formation of micro- and macro-cracks occurs, the processes of delamination, faults, and, ultimately, the destruction of the rock structure develop. Mechanical properties of rocks can be into deformation properties, which characterize the ability of rocks to be deformed under load; strength, which characterizes the resistance of rocks to various force influences; rheological, which characterize the change in strength and deformation properties in time.

Real geological massifs mainly have a random heterogeneous structure, which is determined by both the arbitrary shape of the filling particles and their random placement. The solution of this class of problems is connected with the application of mechanical models that take into account the heterogeneity of structures [3]. Application of methods of the theory of random functions allows to determine almost all real structures of heterogeneous environments [4]. Rocks with an irregular structure can be represented as a environment with effective mechanical characteristics that are random functions of coordinates.

Purpose and methods. An important task is to predict the behavior of the rock mass, taking into account the heterogeneity of its structure and microdamage. Indeed, even at the stage of designing a mining enterprise, an engineer needs to know what the load will be on the fastening of the mine workings, whether the soil of the workings, the sides of the pits and the slopes of the dumps will be stable, and about many other geomechanical indicators that would allow safe and economical development of the earth's subsoil in the future. For this, it is necessary to construct, to define mathematically and to analyze the appropriate geomechanical models.

The purpose of the work is to find viscoelastic operators and solve the problem of changing the stress-strain state of the geological rock in time, considering the heterogeneity of the material and the presence of microdamages.

The object of the research is geological materials of random heterogeneous structure with viscoelastic properties.

Research methods are mathematical and mechanical modeling of the stress-strain state of a heterogeneous material.

Results and explanations. A geological material consisting of an isotropic viscoelastic matrix with stochastically placed inclusions in different directions is considered. That is, this environment has the same mechanical properties in all directions. The problem of rheology the purpose of which is to define the stress-strain state of rocks and other materials, considering their tendency to creep and relaxation takes place.

This problem is reduced to compiling the so-called equations of state, i.e. such equations that connect the components of stresses, strains and their time derivatives into a single relationship. In all available

investigations, it is considered that the equations of state sufficiently accurately determine changes in the stress-strain state of materials if the external conditions are such that deformations and stresses cannot be considered constant. For clarity of presentation of rheological processes, the method of structural models is usually used. This method consists in the fact that the properties of the body are defined using a specially selected mechanical model. The model should consist of elements that perfectly reflect the fundamental qualities of the initial material. So, for example, at a certain level of loads and their application quickly enough, all solid and cohesive rocks behave as elastic bodies obeying Hooke's law. Special investigations have established that grain boundaries in polycrystalline materials, which include rocks, behave like a viscous material. This circumstance leads to the fact that the temperature in a certain way changes the internal friction in such bodies, their deformation and strength characteristics. Under conditions of sufficiently long external loads, polycrystalline materials generally behave like a very viscous material.

Equations of equilibrium in stresses for arbitrary continuous environment [1], which are valid at every point of the volume V are following

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho F_i = 0. \quad (1)$$

Equations of compatibility of deformations are

$$\varepsilon_{mlj} \varepsilon_{nik} \varepsilon_{ij,kl} = 0 \quad (2)$$

The generalized Hooke's law in the case of an isotropic linear elastic environment under the influence of only mechanical factors has the form

$$\sigma_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left(\varepsilon_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu} \delta_{ij} \varepsilon_{kk} \right). \quad (3)$$

Here δ_{ij} is the Kronecker's symbol $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i=j \\ 0, i \neq j \end{cases}, i, j = 1, 2, 3.$ (4)

Relationship between strains and stresses for such an environment has the form

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \delta_{ij} \sigma_{kk}. \quad (5)$$

The form of Hooke's law is the most widely used through the Lamé coefficients λ and μ , which are related to Young's modulus E and Poisson's ratio ν by the formulas

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (6)$$

namely

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

In the rheological problem, Hooke's generalized law has the form [5, 6]:

$$\sigma_{ij} = \tilde{\lambda}_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (8)$$

where

$$\tilde{\lambda}_{ijkl} = \lambda_{ijkl} \left[f - \int_0^t K_{ijkl} f(\tau) d\tau \right]. \quad (9)$$

Here $\tilde{\lambda}_{ijkl}$ is tensor of linear operators of viscoelasticity [7], λ_{ijkl} is tensor of instantaneous elastic moduli, K_{ijkl} are kernels of viscoelastic operators. It is known to be, for environments with randomly located inhomogeneities, tensors λ_{ijkl} and K_{ijkl} depend on space coordinate randomly. Since the time integration procedure is commutative with space integration and statistical averaging then the solution of the elastic problem can be used to solve the viscoelastic problem. Namely, in the final result, elastic moduli are replaced by viscoelastic operators.

The tensor of the macroscopic modulus of elasticity λ_{ijkl}^* of a micro-inhomogeneous body is defined by the relations

$$\bar{\sigma}_{ij} = \lambda_{ijkl}^* \bar{\varepsilon}_{kl}. \quad (10)$$

Here

$$\bar{\sigma}_{ij} = \frac{1}{V} \int_V \sigma_{ij} dv; \quad \bar{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{V} \int_V \varepsilon_{ij} dv. \quad (11)$$

Equilibrium equations must be satisfied at all points of the studied body. Upon reaching the border of the area, the stress components must be such that they are in equilibrium with the external forces applied to the border. Because of this, external forces can be considered as a continuation of internal tensions.

Relations (1) are written on the basis of equilibrium equations

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (12)$$

Hooke's law connecting stresses σ_{ij} and strains e_{ij} at an arbitrary point for a micro-inhomogeneous body has the following form

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijkl} e_{kl}, \quad (13)$$

where e_{ij} is unit antisymmetric tensor, λ_{ijkl} is a tensor of elastic moduli, which is a statistically homogeneous random function of coordinates. Substituting (13) into (12), we get the problem in displacements

$$(\lambda_{ijkl} u_{kl}),_j = 0 \quad (14)$$

Determining the stresses from (14) as a function of average deformations $\bar{\varepsilon}_{kl}$ and averaging them over the volume, we obtain (10).

We assume that any volume of the environment is continuously filled with its substance, that is, it forms a so-called material continuum. Such an assumption makes it possible to consider that an arbitrarily small volume of the area of space occupied by the body around an arbitrary point contains the given

substance. If the size of the body is much larger than the size of the micro-inhomogeneities, then the area occupied by the environment can be considered infinite.

Interacting of homogeneous loads on a statistically homogeneous body, the arisen random fields of stresses σ_{ij} and strains ε_{ij} are also statistically homogeneous. Therefore, volume averaging coincides with statistical averaging

$$\bar{\sigma}_{ij} = \langle \sigma_{ij} \rangle; \quad (15) \quad \bar{\varepsilon}_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle, \quad (16)$$

where

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \int \sigma_{ij} f_2(\sigma_{ij}) d\sigma_{ij} \quad (17)$$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \int \varepsilon_{ij} f_3(\varepsilon_{ij}) d\varepsilon_{ij}. \quad (18)$$

In this case, Hooke's law acquires the form

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \langle \lambda_{ijkl} \varepsilon_{kl} \rangle = \langle \lambda_{ijkl} \rangle \langle \varepsilon_{kl} \rangle + \langle \lambda_{ijkl}^0 \varepsilon_{kl}^0 \rangle. \quad (19)$$

For statistically homogeneous deformations, displacements are presented in the form

$$u_i = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j + u_i^0, \quad (20)$$

where u_i^0 is fluctuation of displacements. Then the equation of equilibrium in displacements follows from equation (4).

$$\langle \lambda_{ijkl} \rangle u_{k,lj}^0 + \lambda_{ijkl,j}^0 \langle \varepsilon_{kl} \rangle + \langle \lambda_{ijkl}^0 u_{k,lj}^0 \rangle_j = 0. \quad (21)$$

Since the regular part of the displacements $\langle \varepsilon_{ij} \rangle x_i$ at infinity increases indefinitely, the fluctuation u_i^0 at infinity is equal to zero

$$u_i^0 \Big|_{\infty} = 0. \quad (22)$$

Therefore, this problem is reduced to the solution of equation (21) with the boundary condition (22).

Let's construct an equation for moments $\langle u_k^{0(1)} \lambda_{pqmn}^{0(2)} \rangle$. To do this, we will carry out [8, 9] certain transformations and lead statistical averaging of the equilibrium equation (21). As a result, we get

$$\langle \lambda_{ijkl} \rangle \langle u_{kj}^{0(1)} \lambda_{pqmn}^{0(2)} \rangle_{,li} = - \langle \lambda_{ijkl}^{0(1)} \lambda_{pqmn}^{0(2)} \rangle \langle \varepsilon_{kl} \rangle_{,j} - \langle \lambda_{ijkl}^{0(1)} u_{k,l}^{0(1)} \lambda_{pqmn}^{0(2)} \rangle_{,j}. \quad (23)$$

The equilibrium equation (23) with respect to moments can be written [10] in following form

$$\langle \lambda_{ijkl} \rangle Q_{pqmn,li}^k(y_i) = -F_{pqmn,j}^{ijkl} \langle \varepsilon_{kl} \rangle. \quad (24)$$

This equation is written in the correlation approximation. Moreover

$$Q_{pqmn}^k(y_i) = \langle u_k^{(1)} \lambda_{pqmn}^{i0(2)} \rangle; \quad F_{pqmn}^{ijkl}(y_i) = \langle \lambda_{ijkl}^{i0(1)} \lambda_{pqmn}^{i0(2)} \rangle; \quad y_i = x_i^{(1)} - x_i^{(2)}. \quad (25)$$

Then Hooke's law (19) for averaged stresses acquires the form [11, 12]

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \langle \lambda_{ijkl} \rangle \langle \varepsilon_{kl} \rangle + Q_{ijkl,l}^k(0). \quad (26)$$

After application of Green's function

$$\Gamma * f = \int G_{\alpha(i,j)\beta}(x-x)f(x)\partial V + \int G_{\alpha(i,j)}(x-x)f(x)N_{\beta}\partial S, \quad (27)$$

we obtain

$$Q_{pqmn}^k(x_i^{(1)}) = \int_V G_{kl,h}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) F_{ijmn,h}^{lhpq}(x_i^{(2)}) dV^{(2)} \langle \varepsilon_{pq} \rangle. \quad (28)$$

Taking into account that $F_{ijmn}^{lkpq}(\infty) = 0$, and having integrated the last expression we get

$$Q_{ijkl,l}^k(0) = \int_V G_{mr,hn}(-x_i) F_{ijmn}^{rhkl}(x_i) dV \langle \varepsilon_{pq} \rangle. \quad (29)$$

The tensor of macroscopic elastic moduli is written in the form

$$\lambda_{ijkl}^* = \langle \lambda_{ijkl} \rangle + \int_V G_{mr,hn}(-x_i) F_{ijmn}^{rhkl}(x_i) dV. \quad (30)$$

For geological environments with granular stochastic structure

$$Q_{jk,n}(0) = -\frac{1}{\langle \mu \rangle \langle \lambda + 2\lambda \rangle} [(5\langle \mu \rangle F_{ik}(0) - 2\langle \lambda + \mu \rangle F_{ik}(0)) \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{jn} + \\ + 2\langle \lambda + 8\mu \rangle F_{2k}(0) \langle \varepsilon_{jn} \rangle]. \quad (31)$$

Finally, we find the relationship between the average stresses and strains

$$\langle \sigma_{jk} \rangle = \lambda^* \langle \varepsilon_{pp} \rangle \delta_{jk} + 2\mu^* \langle \varepsilon_{jk} \rangle. \quad (32)$$

This expression contains macroscopic Lamé's constants

$$\lambda^* = \langle \lambda \rangle - \frac{1}{3\langle \lambda + 2\mu \rangle} \left[3F_{11}(0) + 4F_{12}(0) - \frac{4\langle \lambda + \mu \rangle}{5\langle \mu \rangle} F_{22}(0) \right]; \quad (33)$$

$$\mu^* = \langle \mu \rangle - \frac{2 \langle 3\lambda + 8\mu \rangle F_{22}(0)}{15 \langle \mu \rangle \langle \lambda + 2\mu \rangle} \quad (34)$$

Equations (32)-(34) are valid for arbitrary types of spatial orientation of inclusions. In addition, these equations allow taking into account damage to the geological environment. The derivation of the calculation formulas is related to the assignment of the explicit form of the density of the included distribution by direction. So, for example, in a partial case, the values of the effective creep parameters of an isotropic environment with cracks are calculated according to (33), (34) from the ratios that are expressed in terms of the corresponding creep parameters of the environment without cracks and the damage parameters, which depend on the radius of the cracks and their number on volume [7]

$$\lambda^* = \alpha \lambda, \quad (35) \quad \mu^* = \beta \mu; \quad (36)$$

where

$$\alpha = \frac{1}{1 + \omega(1 - \nu^2)(1 - 2\nu)^{-1}}, \quad (37)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \omega(1 - \nu)(1 - \nu/5)(1 - \nu/2)^{-1}}. \quad (38)$$

The parameter ω characterizes the degree of rock damage

$$\omega = \frac{8}{3} \frac{na^3}{V}, \quad (39)$$

where a is the radius of the cracks, n is the number of cracks in the volume V . It should be noted that cracking leads to a significant decrease in the strength characteristics of the rock massif. Cracks are called breaks in rocks, along which displacements are completely absent or insignificant. A set of cracks that dismember this or that part of the earth's crust is called fracturing. Cracking, as an element of the structure, is also one of the characteristic features of the rock massif. Cracks traced in rocks are usually divided by genetic characteristics into natural (congenital, primary) cracks that arise during the formation of geological bodies; tectonic, formed as a result of orogenic processes; artificial ones that appear in the process of preparatory and cleaning works in mines, drilling and blasting, as well as due to other reasons. Effective viscoelastic operators cannot always serve as a reliable damage indicator. However, they are quite often used to model the quasi-brittle process of microdestruction of materials.

Conclusions and recommendations

The change in the stress-strain state of rocks having viscoelastic properties and containing randomly placed inclusions has been examined in paper. Microstructural stresses were studied, effective parameters were calculated, and their dependence on the shape, orientation, and volume concentration of inclusions was determined. In addition, as a partial case, a fractured medium is considered. Taking into account such a significant heterogeneity of the geological rock and the presence of microdamages, the dependence of viscoelastic deformations on time and degree of damage was obtained.

References

1. Lavrenyuk M. Modeli mexaniky` deformivnogo tverdogo tila neodnorodny`x seredovy`shh.: Navchal`ny`j posibny`k. – Ky`yiv: KNU im. Tarasa Shevchenka, 2012. – 86 s.
2. Shashenko O.M. Mexanika girs`ky`x porid: Navch. Posibny`k. – Dnipropetrovs`k: Nacional`na girny`cha akademiya Ukrayiny`, 2002. – 302 s.
3. Vy`zhva S.A., Maslov B.P., Prodajvoda G.T. Effektivnye uprugie svojstva nelinejnyx mnogokomponentnyx geologi`cheski`x sred. // Geofy`zy`chesky`j zhurnal. 2005. - N6. – S.86-96.
4. Maslov B. P., Prodajvoda G. T., Vyzhva S. A. Novyj metod matematy`cheskogo modely`rovany`ya processov razrusheny`ya v ly`tosfere // Geoy`nformaty`ka. — 2006. — N3. — S. 53–61.
5. Maslov B.P. Thermal-stress concentration near inclusions in viscoelastic random composites. // Journal of Engineering Mathematics, 2008. – N61. – P.339-355.
6. Maslov B.P., Lyashenko Ya.G. Nelinijna povzuchist` trishhy`nuvaty`x geologichny`x seredovy`shh. // Visny`k Ky`yivs`kogo universy`tetu. Seriya: geologiya. 2002. - N23-24. – S. 52-54.
7. Maslov B., Lyashenko Ya., Maksy`menko O. Prognozuvannya dovgotry`valoyi micznosti girs`kogo masy`vu u geologichny`x seredovy`shhax skladnoyi struktury`// Visny`k KNU im. Tarasa Shevchenka, Geologiya, - 2009- Vy`p.2 - S. 9-13.
8. Lyashenko, Ya.G. Stress concentration in microstructural elements of viscoelastic composite materials// Strength of Materials, 2005, 37(5), p. 541–550.
9. Jänicke, R., Quintal, B., Larsson, F. *et al.* Identification of viscoelastic properties from numerical model reduction of pressure diffusion in fluid-saturated porous rock with fractures. Comput. Mech **63**, 49–67 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00466-018-1584-7>
10. Mexany`ka kompozy`tnyx matery`alov y` elementov konstrukcy`j. V 3-x t. T. 1. Mexany`ka matery`alov / Guz` A.N., Xoroshun L.P., Vany`n G.A. y` dr. – Ky`ev: Nauk. dumka, 1982. – 368 s.
11. Maslov B.P. Stress concentration in nonlinear viscoelastic composites/Mechanics and Advanced Technologies – 2017 – №1 – p.5-10. – Rezhy`m dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/madt_2017_1_3.

ВРАХУВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПОВЕДІНКИ НЕОДНОРІДНОГО ПОРОДНОГО МАСИВУ У ЧАСІ

Бондаренко Людмила Петрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: luda_bond@ukr.net, тел.+380442803942, <https://orcid.org/0000-0002-8239-065X>

Ляшенко Яна Григорівна, кандидат фізико-математичних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: Ya_Lyashenko@ukr.net, тел.+380444067323, <https://orcid.org/0000-0002-7772-7879>

Балашова Юлія Борисівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. e-mail: balashova.yuliia@pdaba.edu.ua, тел. +380507865446, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, к. 421, <https://orcid.org/0000-0002-2286-9263>

Анотація. Роботу присвячено вирішенню актуального на сьогоднішній день питання щодо наукового обґрунтування найбільш ефективних способів видобування гірських порід для різних потреб народного господарства, у тому числі і для будівництва автомобільних доріг. Дослідження проведено на основі методів математичного моделювання з урахуванням реологічних властивостей гірських порід, неоднорідності їх структури, мікропошкодженості та поведінки породного масиву у часі. В рамках роботи розглянуто геологічний матеріал, що складається з ізотропної в'язко-пружної матриці із стохастично розміщеними включеннями у різних напрямках. Описано зміну напружено-деформованого стану гірських порід, що мають властивості в'язкопружності, та які містять випадково розміщені включення. При умові, що розміри тіла набагато більші розмірів мікронеоднорідностей, то область, що займається середовищем, розглядається як нескінченна. Математичну модель побудовано на основі того, що при взаємодії однорідних навантажень на

статистично однорідне тіло випадкові поля напружень та деформацій, які виникають, також є статистично однорідними, а отже, усереднення по об'єму можна здійснювати, як статистичне усереднення. Виведення розрахункових формул пов'язано із заданням явного виду щільності розподілу включень за напрямками. На основі побудованої математичної моделі досліджено мікроструктурні напруження, обчислено ефективні параметри та визначено їх залежність від форми, орієнтації і об'ємної концентрації включень. До того ж, як частинний випадок, розглянуто тріщинувате середовище. Враховуючи таку суттєву неоднорідність геологічної породи та наявність мікропошкоджень отримано залежність в'язко-пружних деформацій від часу та міри пошкоженості. Отримані результати дають можливість в подальшому оцінити геомеханічну ситуацію, а також отримати параметри систем розробки при підземних чи відкритих гірських роботах, що в свою чергу дозволить ефективно видобувати корисний матеріал.

Ключові слова: гірські породи, реологічна задача, напружено-деформований стан, оператор в'язкопружності, параметри повзучості.

Перелік посилань

1. Лавренюк М. Моделі механіки деформівного твердого тіла неоднорідних середовищ.: Навчальний посібник. – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2012. – 86 с.
2. Шашенко О.М. Механіка гірських порід: Навч. Посібник. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. – 302 с.
3. Вижва С.А., Маслов Б.П., Продайвода Г.Т. Эффективные упругие свойства нелинейных многокомпонентных геологических сред. // Геофизический журнал. 2005. - №6. – С.86-96.
4. Маслов Б. П., Продайвода Г. Т., Вижва С. А. Новый метод математического моделирования процессов разрушения в литосфере // Геоинформатика. — 2006. — № 3. — С. 53–61.
5. Maslov B.P. Thermal-stress concentration near inclusions in viscoelastic random composites. // Journal of Engineering Mathematics, 2008. – №61. – P.339-355.
6. Маслов Б.П., Ляшенко Я.Г. Нелінійна повзучість тріщинуватих геологічних середовищ. // Вісник Київського університету. Серія: геологія. 2002. - №23-24. – С. 52-54.
7. Маслов Б., Ляшенко Я., Максименко О. Прогнозування довготривалої міцності гірського масиву у геологічних середовищах складної структури// Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка, Геологія, - 2009- Вип.2 - С. 9-13.
8. Lyashenko, Ya.G. Stress concentration in microstructural elements of viscoelastic composite materials// Strength of Materials, 2005, 37(5), p. 541–550.
9. Jänicke, R., Quintal, B., Larsson, F. *et al.* Identification of viscoelastic properties from numerical model reduction of pressure diffusion in fluid-saturated porous rock with fractures. Comput. Mech 63, 49–67 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00466-018-1584-7>
10. Механика композитных материалов и элементов конструкций. В 3-х т. Т. 1. Механика материалов / Гузь А.Н., Хорошун Л.П., Ванин Г.А. и др. – Киев: Наук. думка, 1982. – 368 с.
Maslov B.P. Stress concentration in nonlinear viscoelastic composites/Mechanics and Advanced Technologies – 2017 – №1 – p.5-10. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/madt_2017_1_3.

УДК 625.70
UDC 625.70

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-021-040

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОШАРОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО
ПОКРИВУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ**

**COMPUTER DESIGN OF MULTI-LAYER ASPHALT CONCRETE SURFACES FOR HIGHWAYS
AND AIRPORTS**



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури, Київ, Україна, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124,

id ORCID 0000-0001-9246-7561



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006,

id ORCID 0000-0001-6144-7533.



Давиденко Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua,

ORCID: 0000-0003-0176-3256.

Анотація. Проектування нежорсткого дорожнього одягу складається з таких основних етапів: конструювання, розрахунок напружено-деформованого стану, перевірка умов граничного стану. Найменш формалізованим та найбільш небезпечним у випадку неправильного вибору є етап конструювання.

Розрахунок дорожнього одягу на міцність заснований на наступних передумовах:

а) напружено-деформований стан дорожнього одягу під дією навантаження описується рішеннями лінійної теорії пружності для шаруватого півпростору з урахуванням умов сполучення

шарів на контактах, сили інерції через їхню малість у розрахунку не враховуються (задача квазистатична);

б) граничний стан дорожнього одягу характеризується показниками, що залежать від властивостей матеріалу кожного шару дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, а також від їхнього розміщення й умов роботи в конструкції;

Для спрощення розрахунків за допомогою таблиць і номограм реальні багатошарові дорожні конструкції приводять до двошарових і тришарових моделей за допомогою методів та розробленні критерії граничного стану, виконане комп'ютерне проектування багатошарового асфальтобетонного покриття автомобільних доріг та аеродромів, встановлені оптимальні 4 – х шарові конструкції асфальтобетонного покриття.

Ключові слова: комп'ютерне проектування, автомобільні доріги, аеродроми, багатошарове асфальтобетонне покриття, напружено деформований стан, критерії граничного стану, метод скінчених елементів.

Постановка проблеми. Проектування (конструювання та розрахунок) дорожнього покриття необхідне для розуміння поведінки асфальтобетонних шарів за різних умов експлуатації. Існують різні підходи до аналізу поведінки асфальтобетонних шарів, починаючи від лінійно-пружного до комплексного нелінійного аналізу. Протягом останніх 50 років для аналізу нежорстких дорожніх одягів успішно використовується точне рішення теорії лінійної пружності (ТРТЛП) [1, 2]. Рішення теорії пружності спочатку був отримано Вурмістер як аналітичне рішення для двошарової системи, а потім вдосконалено до багатошарової системи. Метод розглядається як математично точне рішення. Він дає реакцію (напруження, деформації та прогини) під час впливу колісного навантаження в будь-якій точці багатошарового, лінійно-пружного дорожнього покриття, припускаючи, що шар нескінченний по горизонталі та лежить на пружному напівпросторі (напівнескінченному фундаменті) [3].

На відміну від залізничних доріг, де проблема раціонального проектування верхньої будови колії вирішена проф. Тимошенко С.П. ще на початку минулого століття [4] за рахунок форми рейок у вигляді двохтавра, для дорожніх одягів до сих пір немає аналітичного рішення про раціональний розподіл матеріалу по глибині. В останні десятиліття з використанням нових підходів продовжуються дослідження відносно встановлення конкретних функціональних залежностей характеристик жорсткості та пружності рейкових ниток від спільно діючих вертикальних і горизонтальних поперечних сил при боковому вигині та крученні [5].

Традиційно, матеріали та в'язуче в дорожньому одязі розподіляють таким чином, щоб модуль пружності та вартість зменшувалися у відповідності із зменшенням стискаючих напружень по глибині. Це доцільно для незв'язних матеріалів, що працюють тільки на стиск, а для асфальтобетону та інших монолітних матеріалів визначальним є критерій згину, тому що їх міцність на розтяг при згині в 7 – 12 раз менша від міцності на стиск [6].

Раціональний розподіл матеріалу по глибині має передбачати розміщення найбільш міцних дорожньо-будівельних матеріалів в найбільш напружених зонах конструкції. Досягнути цього складно, тому що дорожня конструкція статично невизначена система, розподіл напружень та деформацій залежить від зміни модуля пружності по глибині. За рахунок зміни деформаційних характеристик (модуля пружності та коефіцієнта Пуассона) шару дорожнього одягу по глибині можна управляти НДС (напружено деформований стан) конструкції [6 - 8].

Змінювати деформаційні характеристики асфальтобетону можна за рахунок зміни складу асфальтобетону, кількості бітуму та його в'язкості, кількості та типу добавок модифікаторів, добавки волокон тощо [7 - 9].

Кількість варіантів залежить від кількості шарів. Наприклад, для 4-х шарового дорожнього покриття кількість сполучень рівна $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$ варіанти. Для порівняння слід брати однорідну плиту з еквівалентним модулем пружності, рівним середньозваженому значенню модуля всіх шарів.

Методи розрахунку НДС з використанням методу скінчених елементів (МСК) набувають широкого поширення, в той же час настільки ж важливі методи оцінки граничного стану не розвиваються.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При розрахунках НДС можуть бути використані більш складні методи розрахунку, якщо вони дають результати більш близькі до рішень теорії пружності для багат шарових систем в оцінці напружено-деформованого стану (з урахуванням умов сполучення шарів). Для розрахунку НДС, в останні роки, використовують програми та програмні комплекси що реалізують метод скінчених елементів (Lira САПР, SCAD в Україні [10], ANSYS/ NASTRAN, PLAXIS закордоном [11 - 14].

Роботи по раціональному конструювання виконувались достатньо давно. Так Мерзлікіним О.Ю. в кандидатській дисертації виконано аналіз двох шарової укріпленої цементом основи, де показано, що верхній шар має бути морозостійким та менш міцним ніж нижній. При цьому не треба забувати при умова забезпечення мінімальної міцності проміжного шару на зсув, щоб не отримувати рішень некоректних з точки зору математичної логіки. Саль А.О. показав, що для трьохшарового асфальтбетонного покриття максимальна міцність і жорсткість забезпечується при розташуванні в верхньому та нижньому шарах більш міцних та жорстких матеріалів ніж в проміжному.

До аналогічного висновку прийшли Рассказов О.О. та Косенко В.І. [15].

В роботі [7] показано, що використання високо пористого асфальтбетону в нижній частині асфальтбетонного покриття ефективно лише при армуванні його дисперсними волокнами.

Найбільш простим способом регулювання деформативності та міцності асфальтбетону є використання природного бітуму. Так використання Selenizza SLN 120 дозволяє практично лінійно збільшувати модуль пружності та міцність на розтяг при згині при вмісті добавки від 4 до 25 % [9].

Виклад основного матеріалу. Комп'ютерне проектування конструкцій дорожнього одягу підвищеної довговічності або зниженої матеріалоемкості виконується під дію навантажень від сучасних транспортних засобів.

Граничні стани. Розрахунок дорожніх одягів заснований на трьох критеріях граничного стану – загальному модулю пружності (пружному прогині) дорожнього одягу під навантаженням, опором згину монолітних шарів і опором зсуву ґрунтів і шарів з слабозв'язних матеріалів.

Конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам надійності і міцності за критерієм пружного прогину, якщо [16]:

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу;

$E_{\text{заг}}$ – загальний модуль пружності конструкції;

$E_{\text{потр}}$ – потрібний модуль пружності конструкції з урахуванням капітальності одягу, типу покриття й інтенсивності дії навантаження, що визначається за формулою

$$E_{\text{потр}} = a \cdot \ln(N_{\Sigma}) - b, \quad (2)$$

де a, b – коефіцієнти $a = 42,843; b = 315,680; 350,250; 409,400$ відповідно для навантаження групи $A_1 = 115 \text{ кН}$, $A = 100 \text{ кН}$ та $B = 60 \text{ кН}$;

N_{Σ} – сумарна кількість прикладання розрахункових осей за весь строк експлуатації дорожнього одягу.

При виконанні обстеження дорожнього одягу для навантаження рівномірно розподіленого по площі круга

$$E_{\text{екс}} = k \cdot (1 - \mu^2) \cdot p \cdot \frac{r}{w}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт при випробуванні колесом автомобіля, $k = 2$; для жорсткого штампа, $k = \frac{\pi}{2}$;

μ – коефіцієнт Пуассона, що призначається для ґрунту $\mu = 0,35$;

r – радіус круга, м;

w – пружний прогин поверхні покриття, м.

Без урахування коефіцієнту запасу прирівнюючи $E_{\text{екс}} = E_{\text{потр}}$ та підставивши у формулу (3) отримується формула для розрахунку допустимого прогину

$$w_{\text{доп}} = \left(k \cdot (1 - \mu^2) \cdot p \cdot \frac{r}{w} \right) / E_{\text{потр}} = \frac{k \cdot (1 - \mu^2) \cdot p \cdot r}{a \cdot \ln(N_{\Sigma}) - b}. \quad (4)$$

Наприклад, для навантаження групи А $A = 100$ кН, прийнявши згідно норм статичний діаметр колеса $D = 2 \cdot r = 33$ см, тиск в пневматику $p = 0,8$ МПа, $k = 2$, отримується формула для допустимого прогину в мм:

$$w_{\text{доп, 100кН}} = \frac{173,745}{42,823 \cdot \ln(N_{\Sigma}) - 350,250}. \quad (4a)$$

Графік залежності допустимого прогину від кількості циклів прикладання розрахункових осей наведено на рис. 1.

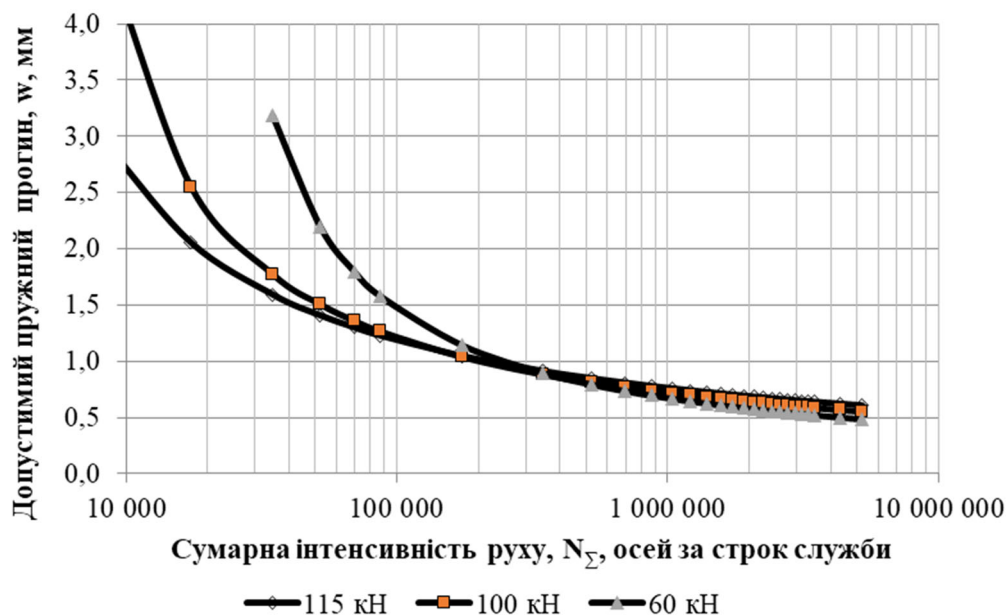


Рисунок 1 – Залежність допустимого пружного прогину для різних груп навантаження
Figure 1 – Dependence of the permissible elastic deflection for different load groups

Таким, чином є можливість виконавши розрахунок вертикального переміщення (прогину $w_{роз}$) за методом скінчених елементів порівняти його з допустимими значеннями згідно видозміненого критерію пружного прогину (1)

$$K_{мц} \leq \frac{w_{доп}(N_{\Sigma})}{w_{роз}}. \quad (5)$$

Як слідує з результатів розрахунку при $N_{\Sigma} > 200\,000$ циклів допустимий прогин менший 1,0 мм і практично рівний для усіх груп навантажень. Рисунок 1 по суті є кривою втоми для критерію пружного прогину.

Дорожній одяг проектується із розрахунку, щоб під дією короточасних, чи довгострокових навантажень в підстиляючому ґрунті та малозв'язних шарах за строк служби не виникали неприпустимі залишкові деформації. Деформації зсуву в конструкції не будуть накопичуватись, якщо забезпечена умова:

$$K_{мц} = \frac{T_{гр}}{T}, \quad (6)$$

де $K_{мц}$ – необхідне мінімальне значення міцності, що визначається з урахуванням заданого коефіцієнта надійності [16];

$T_{гр}$ – гранична величина активного напруження зсуву (в тій самій частині), перевищення якої викликає порушення міцності на зсув;

T – розрахункове активне напруження зсуву (частина зсувного напруження, непогашена внутрішнім тертям) в розрахунковій (найбільш небезпечній) точці конструкції від діючого тимчасового навантаження.

У деяких європейських країнах (Німеччина, Франція, Данія, Чехія, Словаччина) віддають перевагу більш простішому критерію [6, 17 - 19]

$$\sigma_z \leq [\sigma_z], \quad (7)$$

де σ_z – вертикальна нормальна напружка на поверхні шару з незв'язного матеріалу або ґрунту земляного полотна, яку розраховують на основі механіко-математичної моделі;

$[\sigma_z]$ – допустима напружка, що призначається в залежності від виду ґрунту і сумарної кількості прикладання розрахункового навантаження. Наприклад, наближено, за формулою Хайкелом – Кломпа [6]:

$$[\sigma_z] = \frac{K \cdot E_{гр}}{1 + 0,71 \lg(N_{\Sigma})}, \quad (8)$$

де K – коефіцієнт, що приймається 0,007 в нормах Нідерландів та Німеччини [6, 17, 18] та 0,00346 в нормах Чехії та Словаччини для місцевих доріг [19];

$E_{гр}$ – модуль пружності ґрунту.

У США та інших країнах критерієм вважають вертикальну відносну деформацію стиску на поверхні шару або земляного полотна:

$$\varepsilon_z \leq [\varepsilon_z]. \quad (9)$$

Допустимі значення ε_z призначаються в залежності від числа проїздів. Наприклад, за формулою методу «Шелл» $[\varepsilon_z] = 0,028 \cdot N_{\Sigma}^{-0,25}$. Наприклад, при $N_{\Sigma} = 10^6$, $[\varepsilon_z] = 8,8 \cdot 10^{-4}$.

Грунтова основа є найбільш критичним шаром для залишкової деформації. Існує багато різних теоретичних залежностей, які були розроблені для оцінки несної здатності ґрунту земляного полотна для автомобільних доріг. Існує менше зв'язностей, отриманих у дослідженнях із значимим навантаженням на колесо, наприклад, від основних опор повітряних суден. Одна з таких залежностей була встановлена Федеральною Авіаційною Асоціацією (FAA) та Корпусом інженерів армії США [20]. Ця залежність пов'язує допустиму кількість повторів розрахункового навантаження на колесо з конкретним рівнем вертикальної деформації стиску за результатами пружного аналізу шарів дорожнього покриття та модулем пружності шару:

$$N_{\Sigma} = 10000 \cdot \left(\frac{A}{[\varepsilon_z]} \right)^B, \quad (10)$$

де A, B – коефіцієнти, що визначається $A = 0,000247 + 0,000245 \cdot \lg(MR)$, $B = 0,0658 \cdot E_{zp}^{0,559}$,
 MR – модуль пружності шару;
 $[\varepsilon_z]$ – допустима вертикальна деформація стиску в шарі.

З формули (10) в результаті перетворень отримується залежність

$$[\varepsilon_z] = \frac{A}{\sqrt[B]{\frac{N}{10000}}}, \quad (11)$$

При цьому для отримання раціональної багатошарової конструкції необхідно поставити умову щоб циліндрична жорсткість пакету спаяних шарів була максимальною, тобто:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \rightarrow \max. \quad (12)$$

Ця умова відповідає за два критерії граничного стани:

- пружний прогин (загальний модуль пружності)
- зсув в ґрунті та незв'язних шарах.

У монолітних шарах дорожнього одягу – з асфальтобетону, полімер-асфальтобетону, матеріалів і ґрунтів, укріплених комплексними і неорганічними в'язучими, та ін. – напруження, що виникають при прогині одягу під дією повторних короткочасних навантажень не повинні викликати порушення структури матеріалу й призводити до утворення тріщин, тобто повинна бути забезпечена умова:

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{R_{32}}{\sigma_{x,y}}. \quad (13)$$

де R_{32} – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу, шару з урахуванням втоми;

$\sigma_{x,y}$ – найбільше напруження розтягу, у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком.

Закордоном більшого поширення має умова аналогічна (13) яка записується у вигляді

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{max}}}{\varepsilon_r}, \quad (14)$$

де $\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{max}}$ – допустиме відносне подовження при згині для матеріалу шару з урахуванням втоми, МПа;

ε_r – найбільше горизонтальне відносне подовження в розглядуваному шарі, що визначається розрахунком, МПа.

Останнім часом для розрахунку як крихких та пластичних матеріалів часто використовується критерій Писаренка – Лебедева, який враховує, що граничний стан матеріалу визначається як дотичними, так і нормальними напруженнями [8, 20, 21]. Умова граничного стану при цьому має вид [8, 22]:

$$\chi \sigma_i + (1 - \chi) \sigma_1 = \sigma_p, \quad (15)$$

де σ_i – інтенсивність напружень;

σ_1 – перше нормальне напруження;

$\chi = \sigma_p / \sigma_{\text{ст}}$ – параметр.

Для оцінки граничного стану конструкції дорожнього одягу за розрахунковий узагальнюючий показник міцності прийнято у вигляді

$$\sigma_{\text{екв}}(\tau, t, v) = \chi(\tau, t, v) \cdot \sigma_i(\tau, t, v) + (1 - \chi(\tau, t, v)) \cdot \sigma_1(\tau, t, v) \leq [\sigma], \quad (16)$$

де $\chi(\tau, t, v) = R_p(\tau, t, v) / R_{\text{ст}}(\tau, t, v)$ – відношення границі міцності при розтягу і стиску матеріалу для даного періоду експлуатації τ , температури випробувань t і швидкості навантаження v , рівне для цементобетону М50-500: $\chi(\tau, t, v) = (0,1 - R_{\text{ст}}/10500)$; для асфальтобетону типу Б на бітумі БНД 60/90: $\chi(\tau, t, v) = 0,8175 \cdot \exp(-0,0396t)$;

$\sigma_i(\tau, t, v) = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1)^{1/2}$ – інтенсивність напружень, причому для головних напружень виконується умова $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ [8].

Приклади розрахунку НДС. Розраховано варіанти конструкцій дорожнього одягу із чотирма шарами асфальтобетону, що змінюються по глибині в залежності від вмісту полімерної добавки згідно табл. 1 та табл. 2.

Прийнято такі параметри навантаження: навантаження на вісь, $Q=130$ кН/вісь; навантаження на колесо, $Q_k=130/2=65$ кН/колесо, коефіцієнт динамічності, $K_{\text{дин}}=1,3$; динамічне навантаження на колесо $Q_k \cdot K_{\text{дин}}=84,5$ кН/колесо; тиск в шинах – $p=0,90$ МПа; діаметр відбитку – $d=35$ см.

За результатами розрахунків отримано зміну напружено – деформованого стану по глибині шарів. По максимальних горизонтальних напруженнях на нижній фібрі 4 – го шару розраховано коефіцієнт запасу. Міцність на розтяг при згині прийнята за результатами випробувань. 25 – й варіант - конструкція з однорідним шаром товщиною 24 см та середньозваженим модулем пружності $E_{\text{ср}}=5000$ МПа.

При аналізі НДС із чотирма шарами асфальтобетону, що змінюються по глибині в залежності від вмісту полімерної добавки проводився в програмно-розрахунковому комплексі SCAD, що базується на методі скінченних елементів.

Розрахункова модель розміром 7,35x7,35x2,44 м складається з просторових ізопараметричних 8-ми вузлових скінченних елементів (СЕ №36) із 6 степенями свободи. В моделі по крайній низу горизонтальній грані накладаються в'язі по переміщенню у напрямках X, Y, Z; по крайнім боковим вертикальним граням накладаються в'язі у напрямках X, Y.

Враховуючи особливість задання навантажень на просторові об'єкти в ППК SCAD (рис. 2), яке не може бути застосовано аналогічно тиску штамп колеса, у моделі було створено горизонтальний (ХОУ) плитний скінченний елемент (СЕ №19), що об'єднується у вузлах із просторовими елементами. Навантаження на колесо з урахуванням динамічного коефіцієнта призначається 84,5 кН/колесо з діаметром відбитку 0,35 м. У ППК SCAD відсутній функціонал задання розподіленого навантаження форми, яка відрізняється від прямокутної, тому навантаження від колеса задавалося на плитний СЕ №19, як рівномірно розподілене, кН/м²:

$$F = \frac{P}{S^2} = \frac{84,5}{0,35^2} = 689,796 \text{ (кН/м}^2\text{)} = 0,69 \text{ (МПа)}. \quad (17)$$

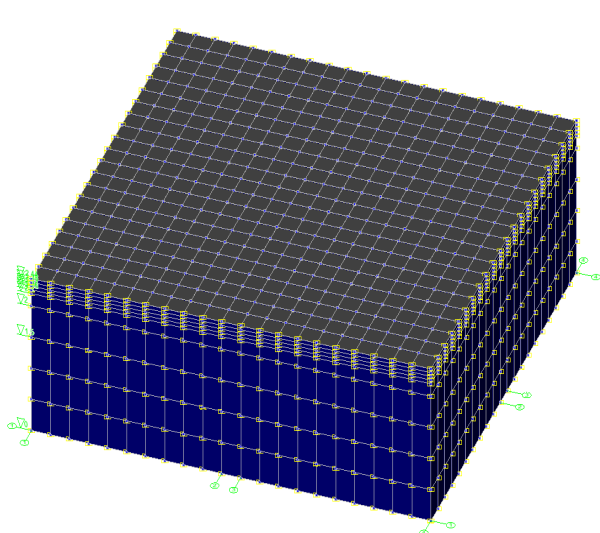


Рисунок 2 – Візуальне відображення розрахункової моделі

Figure 2 – Visual representation of the calculation model

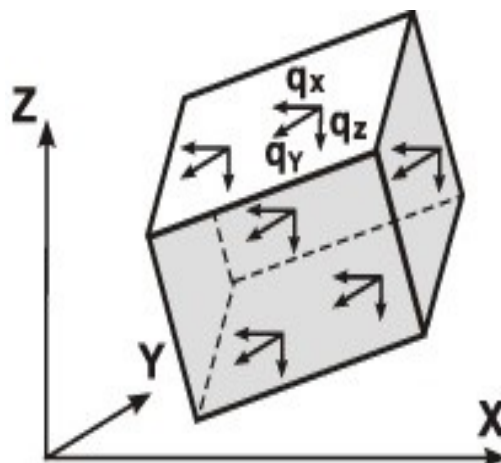


Рисунок 3 – Дія розподіленого навантаження на просторовий ізопараметричний 8-ми вузловий елемент, кН/м³

Figure 3 – Action of a distributed load on a spatial isoparametric 8-nodal element, кН/м³

Таблиця 1

Варіанти розрахунку

Table 1

Calculation options

		Варіанти розрахунку											
Товщина шару, см	Глибина, см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Модуль пружності шарів, МПа											
6	6	8000	8000	8000	8000	8000	8000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
6	12	6000	6000	4000	4000	2000	2000	8000	8000	4000	4000	2000	2000
6	18	4000	2000	6000	2000	6000	4000	4000	2000	8000	2000	8000	4000
6	24	2000	4000	2000	6000	4000	6000	2000	4000	2000	8000	4000	8000
20	44	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
150	200	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
		Варіанти розрахунку											
13	Глибина, см	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
		Модуль пружності шарів, МПа											
6	6	4000	4000	4000	4000	4000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
6	12	8000	8000	6000	6000	2000	2000	8000	8000	6000	6000	4000	4000
6	18	6000	2000	8000	2000	8000	6000	6000	4000	8000	4000	8000	6000
6	24	2000	6000	2000	8000	6000	8000	4000	6000	4000	8000	6000	8000
20	44	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
150	200	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

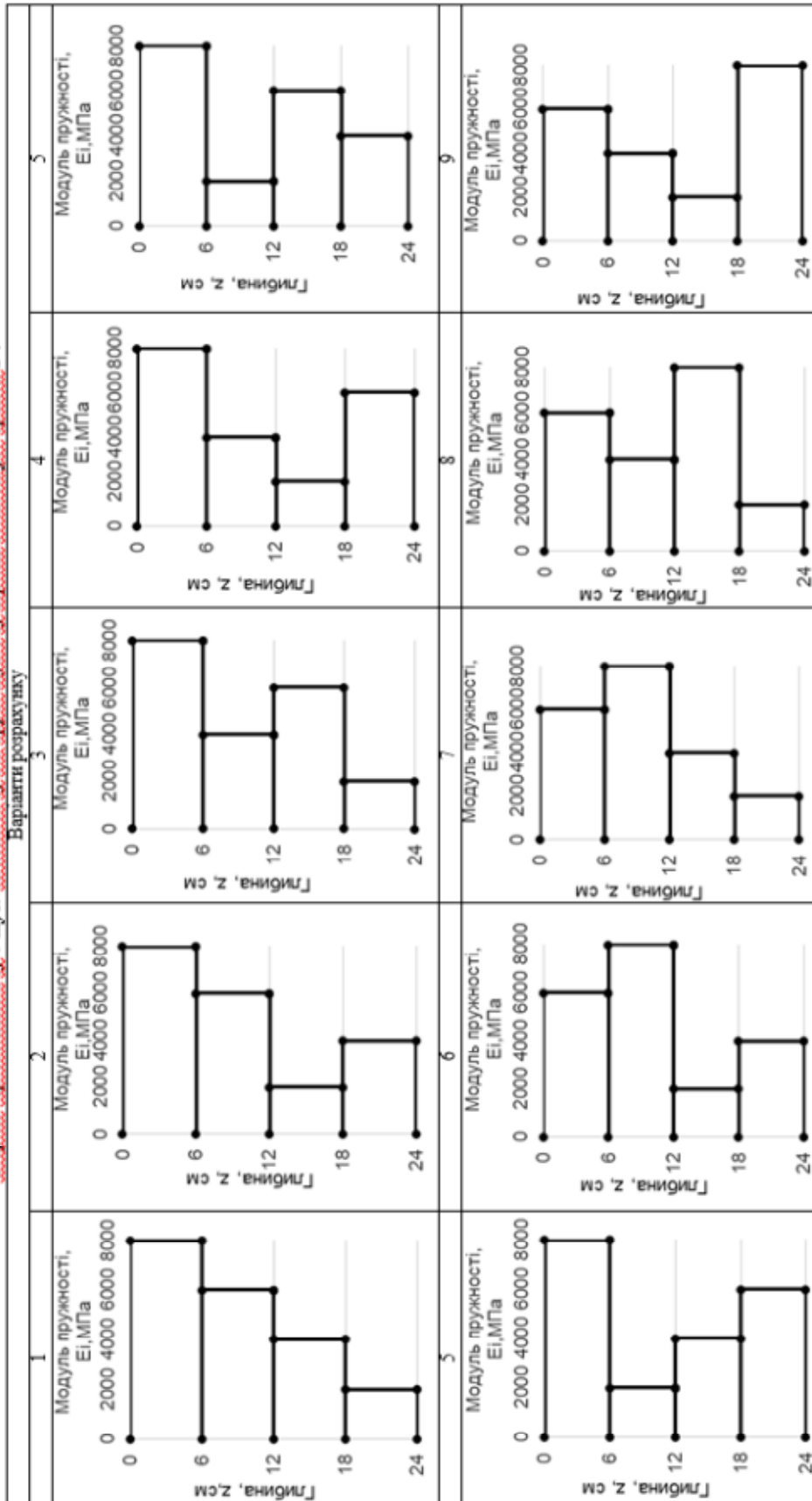
Приклади графічне зображення 4 – х шарових конструкцій верхніх шарів із асфальтобетону для варіантів 1 – 9 наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Графічне зображення 4-х шарових конструкцій верхніх шарів із асфальтобетону для варіантів 1-9

Table 2

Graphic representation of 4-layer structures of the upper layers of asphalt concrete for options 1-9



Для зручності аналізу ізополів напружень та переміщень візуально відображаємо в перерізі моделі в який попадає навантаження (рис. 4, 6) та вид зверху моделі (рис. 5, 7).

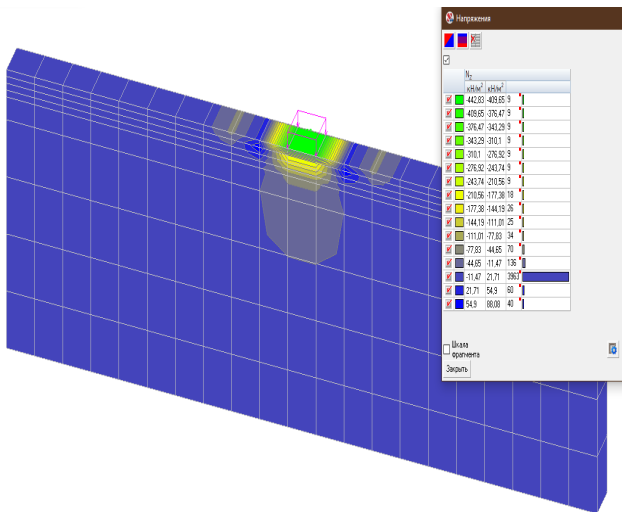


Рисунок 4 – Ізополя напружень σ_z (кН/м²) в поперечному перерізі
Figure 4 – Stress isofield σ_z (kN/m²) in a cross section

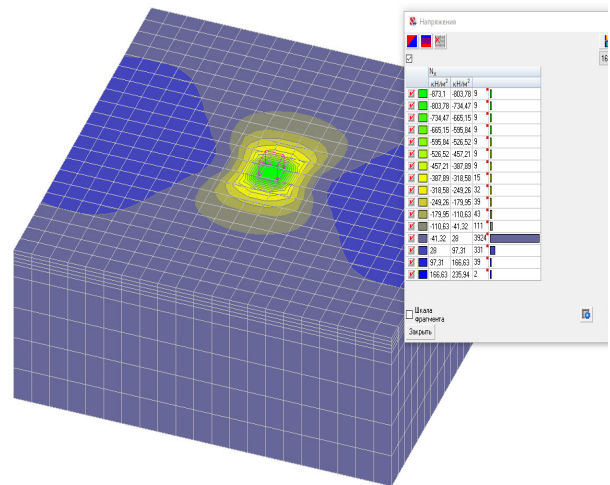


Рисунок 5 – Ізополя напружень σ_z (кН/м²) (вид зверху)
Figure 5 – Stress isofield σ_z (kN/m²) (top view)

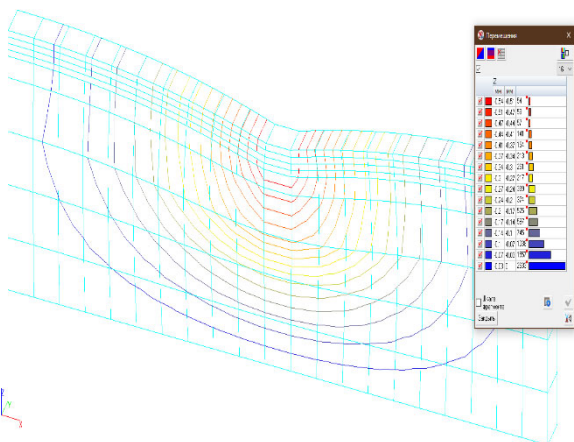


Рисунок 6 – Ізополя вертикальних переміщень (прогинів) в поперечному перерізі (w_z , мм) (вид в розрізі)
Figure 6 – Isofield of vertical movements (deflections) in the cross section (w_z , mm) (section view)

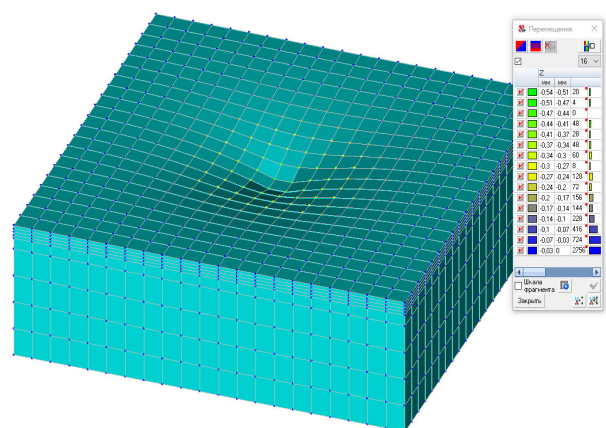


Рисунок 7 – Ізополя вертикальних переміщень w_z , мм (вид зверху)
Figure 7 – Isofield of vertical movements w_z , mm (top view)

Аналіз результатів розрахунку. Для кожного із варіанту КДО проведено розрахунок напружень по центру ізопараметричного просторового елемента і отримані дані зведено в табл. 3-5 та епюри напружень та переміщень зображено на рис. 8-11. Від'ємні значення напружень відповідають стисненню.

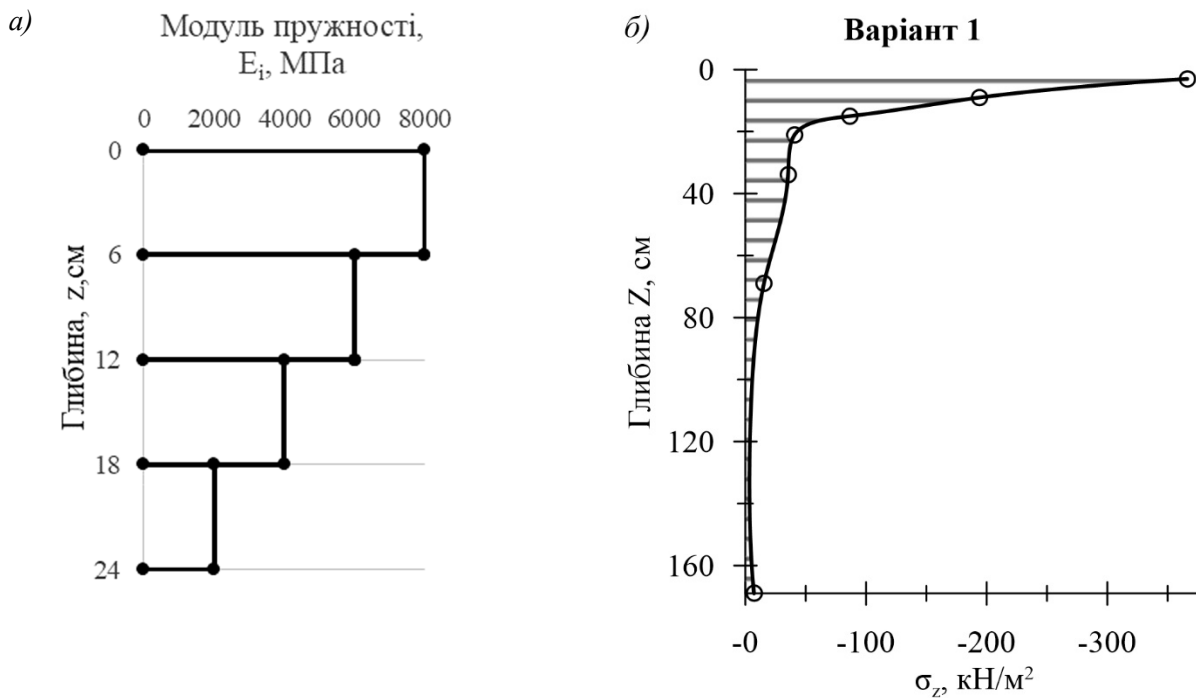


Рисунок 8 – Варіант 1: а) Модуль пружності по шарах конструкції; б) Графік нормальних напружень по глибині, σ_z

Figure 8 – Option 1: a) Modulus of elasticity in layers of the structure; b) Graph of normal stresses along the depth, σ_z

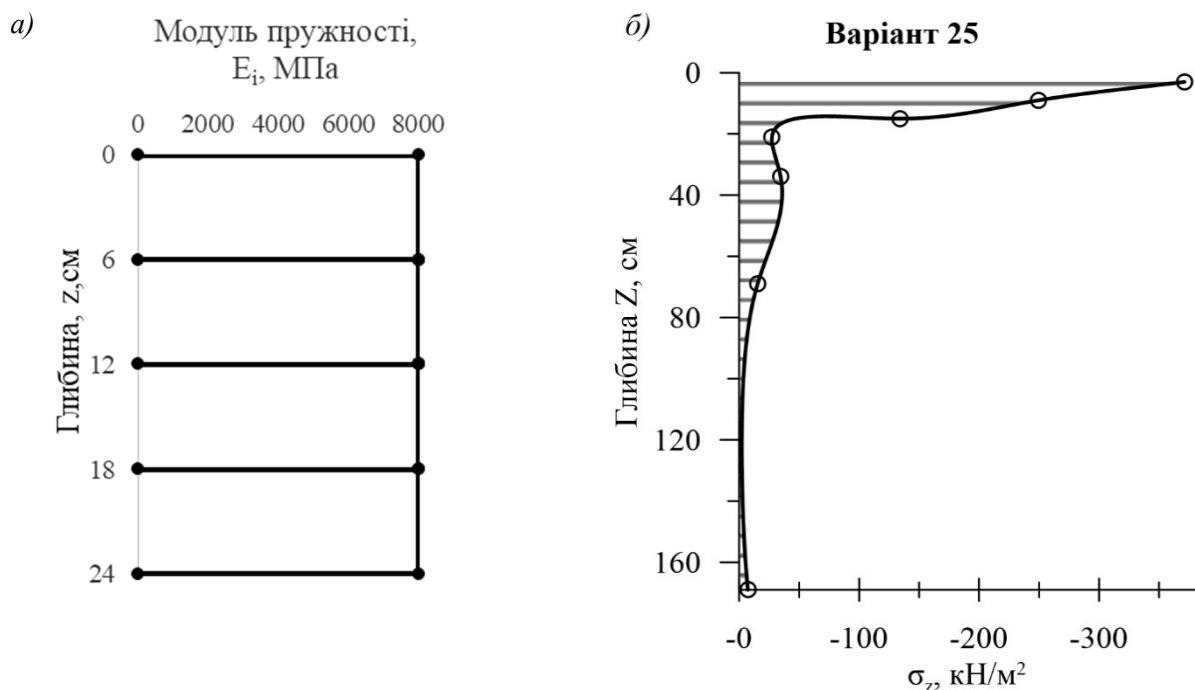


Рисунок 9 – Варіант 25: а) Модуль пружності по шарах конструкції; б) Графік нормальних напружень по глибині, σ_z

Figure 9 – Option 25: a) Modulus of elasticity in layers of the structure; b) Graph of normal stresses along the depth, σ_z



Рисунок 10 – Варіант 1. Чаша прогину
Figure 10 – Option 1. Deflection cup



Рисунок 11 – Варіант 25. Чаша прогину
Figure 11 – Option 25. Deflection cup

Нормальні напруження в багатошаровій конструкції

Table 3

Normal stresses in a multilayer structure

№ варіанту	№ шару							Сума, Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
	Нормальні напруження σ _z , кН/м ²							
1	-366,283	-194,212	-86,689	-40,783	-35,377	-15,391	-7,124	-745,859
2	-363,008	-189,26	-117,415	-33,358	-34,544	-15,101	-7,026	-759,712
3	-363,349	-210,846	-85,587	-41,098	-35,084	-15,325	-7,125	-758,414
4	-357,845	-205,02	-137,301	-30,266	-33,546	-14,796	-6,955	-785,729
5	-351,068	-223,27	-124,684	-32,545	-34,357	-15,095	-7,061	-788,08
6	-350,17	-223,4	-144,522	-28,212	-33,517	-14,818	-6,984	-801,623
7	-371,855	-208,66	-89,205	-42,141	-36,292	-15,783	-7,27	-771,206
8	-369,437	-202,487	-119,967	-35,012	-35,444	-15,49	-7,175	-785,012
9	-368,939	-237,078	-89,786	-42,88	-35,901	-15,743	-7,309	-797,636
10	-363,177	-228,781	-158,108	-31,944	-33,838	-15,048	-7,105	-838,001
11	-358,048	-245,699	-133,002	-34,256	-35,366	-15,591	-7,279	-829,241
12	-356,917	-245,6	-168,503	-28,517	-33,903	-15,125	-7,163	-855,728
13	-373,086	-247,077	-90,253	-43,771	-37,187	-16,23	-7,463	-815,067
14	-370,177	-236,016	-143,94	-33,837	-35,611	-15,695	-7,304	-842,58
15	-373,079	-258,865	-91,962	-44,350	-37,133	-16,273	-7,506	-829,168
16	-369,012	-246,585	-162,483	-34,027	-35,049	-15,578	-7,311	-870,045
17	-362,948	-272,157	-167,768	-30,639	-36,101	-16,062	-7,521	-893,196
18	-362,787	-272,205	-183,603	-28,968	-35,464	-15,873	-7,485	-906,385
19	-368,415	-290,701	-130,565	-34,245	-37,559	-16,532	-7,636	-885,653
20	-367,902	-287,788	-153,951	-29,57	-36,693	-16,252	-7,568	-899,724
21	-368,796	-299,197	-136,473	-35,505	-37,916	-16,734	-7,73	-902,351
22	-367,962	-295,548	-177,155	-29,078	-36,416	-16,27	-7,631	-930,06
23	-367,426	-307,201	-185,418	-28,686	-35,706	-16,156	-7,66	-948,253
24	-367,884	-303,270	-188,029	-29,697	-36,983	-16,568	-7,765	-950,196
25	-371,16	-249,694	-133,794	-27,285	-34,559	-15,348	-7,24	-839,08

Примітка. Максимальні значення нормальних напружень позначено полужирним шрифтом з курсивом. Мінімальні значення – полужирним шрифтом без курсиву.

Таблиця 4

Горизонтальні та вертикальні напруження в багатошаровій конструкції

Table 4

Horizontal and vertical stresses in a multi-layered structure

№ варіанту	№ шару							Сума, Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
	Горизонтальні та вертикальні напруження $\sigma_{x,y}$, кН/м ²							
1	-745,519	-73,507	-22,001	-19,619	-4,343	-3,622	-1,372	-869,983
2	-733,815	-83,496	-9,207	-32,886	-4,083	-3,551	-1,352	-868,39
3	-757,370	-113,948	-28,136	-18,368	-4,215	-3,591	-1,368	-926,996
4	-740,333	-103,348	-7,248	-41,175	-3,794	-3,461	-1,335	-900,694
5	-731,977	-125,226	-18,896	-29,572	-3,902	-3,501	-1,351	-914,425
6	-733,112	-127,43	-10,725	-39,273	-3,722	-3,442	-1,337	-919,041
7	-670,557	-139,447	-25,511	-19,851	-4,385	-3,629	-1,389	-864,769
8	-661,46	-133,63	-9,254	-32,536	-4,092	-3,562	-1,369	-845,903
9	-700,899	-182,92	-38,267	-17,679	-4,167	-3,578	-1,389	-948,899
10	-686,499	-170,892	-20,095	-45,819	-3,581	-3,41	-1,348	-931,644
11	-679,648	-161,016	-23,385	-28,336	-3,874	-3,503	-1,379	-901,141
12	-685,491	-166,686	-28,658	-43,845	-3,532	-3,401	-1,356	-932,969
13	-569,331	-289,607	-40,315	-19,22	-4,344	-3,616	-1,413	-927,846
14	-559,493	-274,77	-8,22	-40,665	-3,849	-3,5	-1,38	-891,877
15	-586,614	-292,286	-49,8	-18,267	-4,253	-3,596	-1,416	-956,232
16	-576,111	-277,378	-28,245	-45,543	-3,617	-3,438	-1,376	-935,708
17	-589,652	-209,768	-29,333	-37,326	-3,744	-3,471	-1,406	-874,700
18	-594,424	-214,42	-71,261	-43,572	-3,579	-3,429	-1,398	-932,083
19	-402,867	-476,097	-38,162	-32,657	-4,141	-3,567	-1,430	-958,921
20	-401,743	-481,418	-22,49	-42,112	-3,925	-3,518	-1,416	-956,622
21	-416,643	-442,381	-50,684	-31,525	-4,096	-3,555	-1,441	-950,325
22	-416,934	-455,724	-42,806	-47,523	-3,717	-3,468	-1,419	-971,591
23	-422,147	-388,876	-81,272	-45,600	-3,664	-3,463	-1,422	-946,444
24	-431,849	-390,972	-81,120	-46,57	-3,711	-3,467	-1,437	-959,126
25	-647,053	-248,601	-22,272	-35,857	-3,878	-3,506	-1,375	-962,542

Примітка. Максимальні значення нормальних напружень позначено полужирним шрифтом з курсивом. Мінімальні значення – полужирним шрифтом без курсиву.

Таблиця 5 Вертикальні переміщення (прогини) під колесом в багатошаровій конструкції

Table 5 Vertical displacements (deflections) under a wheel in a multi-layered structure

№ варіанту	№ шару							Сума, Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
	Вертикальні переміщення (прогини) w_z , мм							
1	-0,541	-0,541	-0,540	-0,536	-0,531	-0,490	-0,379	-3,558
2	-0,530	-0,530	-0,529	-0,524	-0,520	-0,481	-0,374	-3,488
3	-0,539	-0,539	-0,537	-0,534	-0,529	-0,489	-0,379	-3,546
4	-0,520	-0,520	-0,518	-0,514	-0,510	-0,474	-0,370	-3,426
5	-0,539	-0,539	-0,534	-0,532	-0,528	-0,488	-0,378	-3,538
6	-0,522	-0,522	-0,517	-0,515	-0,512	-0,475	-0,371	-3,434
7	-0,551	-0,551	-0,550	-0,547	-0,542	-0,500	-0,386	-3,627
8	-0,540	-0,540	-0,539	-0,535	-0,531	-0,491	-0,381	-3,557
9	-0,550	-0,550	-0,548	-0,546	-0,541	-0,500	-0,388	-3,623
10	-0,526	-0,526	-0,525	-0,520	-0,517	-0,482	-0,377	-3,473
11	-0,545	-0,545	-0,540	-0,539	-0,535	-0,496	-0,386	-3,586
12	-0,530	-0,530	-0,526	-0,523	-0,521	-0,485	-0,380	-3,495
13	-0,563	-0,562	-0,562	-0,559	-0,554	-0,512	-0,396	-3,708
14	-0,545	-0,544	-0,544	-0,539	-0,536	-0,498	-0,387	-3,593
15	-0,564	-0,563	-0,563	-0,560	-0,555	-0,514	-0,398	-3,717
16	-0,541	-0,540	-0,540	-0,535	-0,533	-0,496	-0,387	-3,572
17	-0,557	-0,557	-0,553	-0,552	-0,549	-0,510	-0,398	-3,676
18	-0,552	-0,552	-0,547	-0,546	-0,543	-0,506	-0,396	-3,642
19	-0,572	-0,569	-0,568	-0,566	-0,562	-0,521	-0,405	-3,763
20	-0,564	-0,560	-0,560	-0,558	-0,554	-0,515	-0,401	-3,712
21	-0,577	-0,574	-0,574	-0,572	-0,568	-0,527	-0,409	-3,801
22	-0,564	-0,560	-0,560	-0,558	-0,555	-0,517	-0,404	-3,718
23	-0,563	-0,559	-0,558	-0,557	-0,555	-0,517	-0,405	-3,714
24	-0,572	-0,569	-0,568	-0,567	-0,564	-0,526	-0,411	-3,777
25	-0,538	-0,538	-0,537	-0,534	-0,531	-0,493	-0,384	-3,555

Примітка. Максимальні значення прогинів позначено полужирним шрифтом з курсивом. Мінімальні значення – полужирним шрифтом без курсиву.

Таблиця 6 Відсоткова різниця між мінімальними та максимальними значеннями напружень та прогинів по шарах конструкції

Table 6 Percentage difference between the minimum and maximum values of stresses and deflections by the layers of the structure

	№ шару							Сума, Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
Min σ_z , кН/м ²	-373,086	-307,201	-188,029	-44,350	-37,916	-16,734	-7,765	-950,196
Max σ_z , кН/м ²	-350,170	-189,260	-85,587	-27,285	-33,517	-14,796	-6,955	-745,859
Різниця	-6,14%	-38,39%	-54,48%	-38,47%	-11,60%	-11,58%	-10,43%	-12,93%
Min $\sigma_{x,y}$, кН/м ²	-757,37	-481,418	-81,272	-47,523	-4,385	-3,629	-1,441	-971,591
Max $\sigma_{x,y}$, кН/м ²	-401,743	-73,507	-7,248	-17,679	-3,532	-3,401	-1,335	-845,903
Різниця	-46,96%	-84,73%	-91,08%	-62,80%	-19,45%	-6,28%	-7,36%	-12,94%
Min w_z , мм	-0,577	-0,574	-0,574	-0,572	-0,568	-0,527	-0,411	-3,801
Max w_z , мм	-0,520	-0,520	-0,517	-0,514	-0,510	-0,474	-0,370	-3,426
Різниця	-9,88%	-9,41%	-9,93%	-10,14%	-10,21%	-10,06%	-9,98%	-9,87%

Проаналізуємо відповідність критеріям міцності ґрунтової основи (шару №7) за форм. (5), (7), (9) отриманих результатів розрахунку напружено-деформованого стану багат шарових конструкцій (табл. 6) для $N_{\Sigma} = 500\,000$; $1\,500\,000$; $3\,000\,000$. Результати аналізу приведено у табл. 7.

Таблиця 7 Перевірка критеріїв забезпечення міцності за другою групою граничних станів ґрунтової основи (шару №7)

Table 7 Verification of strength assurance criteria according to the second group of limit states for the soil foundation (layer №7)

	$\sigma_z \leq [\sigma_z]$		$\varepsilon_z \leq [\varepsilon_z]$		$K_{\text{міц}} \leq w_{\text{доп}}(N_{\Sigma})/w_{\text{роз}}$	
	σ_z , МПа	$[\sigma_z]$, МПа	ε_z , мм	$[\varepsilon_z]$, мм	$K_{\text{міц}}$	$w_{\text{доп}}(N_{\Sigma})/w_{\text{роз}}$
$N_{\Sigma} = 500\,000$	0,007	0,015	0,411	1,095	1,500	1,997
Забезпечення критерію	Так		Так		Так	
$N_{\Sigma} = 1\,500\,000$	0,007	0,014	0,411	0,632	1,500	1,634
Забезпечення критерію	Так		Так		Так	
$N_{\Sigma} = 3\,000\,000$	0,007	0,013	0,411	0,447	1,500	1,466
Забезпечення критерію	Так		Так		Ні	

Для перевірки відповідності критерію міцності шарів асфальтобетону за ф. (13) теоретично визначаємо розрахункове гранично допустиме напруження розтягу матеріалу функцією від модуля пружності шару:

$$R_{i,p} = 2,2784 + 0,88922 \cdot \ln(E_i). \quad (17)$$

Міцність матеріалу монолітного шару при багаторазовому розтягу при згині $R_{\text{зг}}$, у МПа визначають за [ф. (6.26), 16]:

$$R_{\text{зг}} = R_{i,p} \cdot k_m \cdot k_T \cdot k_{\text{кп}}, \quad (18)$$

де $R_{i,p}$ – розрахункове значення опору розтягу при згині за умов одноразового прикладання навантаження, МПа;

$k_m = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності під час дії погодно-кліматичних факторів ([табл. 6.9, 16]);

$k_T = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадкових впливів ([табл. 6.9, 16]);

$k_{\text{кп}} = 0,217$ – коефіцієнт, що враховує короточасність та повторюваність навантажень на дорозі:

$$k_{\text{кп}} = k_{\text{пр}} \cdot \sum N_p^{-\left(\frac{1}{m}\right)}, \quad (19)$$

де $k_{\text{пр}} = 3,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період;

$m = 5,0$ – показник втоми (встановлюється експериментально);

$\sum N_p$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк експлуатації дорожнього одягу.

Отримані теоретичні розрахункові граничні напруження на згин шарів асфальтобетону представимо у табл. 8 та проаналізуємо виконання умови міцності

Перевірка критеріїв забезпечення міцності за першою групою граничних станів
Table 8 Verification of strength assurance criteria according to the first group of limit states

№ з/п	Модуль пружності шару, МПа	$R_{i,p}$, МПа	$R_{зг}$, МПа	$\sigma_{x,y}$, МПа	Критерій міцності		Забезпечення критерію
					$K_{мц} \leq R_{зг} / \sigma_{x,y}$		
					$K_{мц}$	$R_{зг} / \sigma_{x,y}$	
$N_{\Sigma} = 500\,000$							
1	E = 8000	10,270	2,01	0,757	1,39	2,655	Так
2	E = 6000	10,014	1,96	0,701		2,796	Так
3	E = 4000	9,654	1,889	0,594		3,180	Так
4	E = 2000	9,037	1,769	0,432		4,094	Так
$N_{\Sigma} = 1\,500\,000$							
1	E = 8000	10,270	1,613	0,757	1,39	2,131	Так
2	E = 6000	10,014	1,573	0,701		2,244	Так
3	E = 4000	9,654	1,516	0,594		2,553	Так
4	E = 2000	9,037	1,42	0,432		3,286	Так
$N_{\Sigma} = 3\,000\,000$							
1	E = 8000	10,270	1,404	0,757	1,39	1,855	Так
2	E = 6000	10,014	1,369	0,701		1,954	Так
3	E = 4000	9,654	1,320	0,594		2,223	Так
4	E = 2000	9,037	1,236	0,432		2,861	Так

Висновки та рекомендації. Метод скінчених елементів (МСК) дає відносно хороше прогнозування напружено – деформованого стану (пружних прогинів (часі прогину, вертикальних та горизонтальних напружень та деформацій)) у всіх шарах багатошарових асфальтобетонних покриттів.

Запропоновано ряд критеріїв граничного стану, які дозволяють порівнювати компоненти напружено – деформованого стану, отриманими МСК для проектування раціональних конструкцій багатошарових покриттів при дії сучасних навантажень від транспортних засобів.

Для удосконалення отриманих моделей в процесі експлуатації в подальшому необхідно врахувати:

1. В'язко – пружні властивості асфальтобетону (зміну модуля асфальтобетонних шарів як функція приведенного часу та швидкості навантаження),
2. Зміну модулів незв'язаних шарів як функції жорсткості верхніх шарів і як функція рівня навантаження,
3. Зниження модуля пружності асфальтобетону як внаслідок втоми так і при зміні температури та відповідно модуля пружності і міцності шарів по глибині в добовому та річному циклах.
4. Деформацію в покритті, викликану наявними тріщинами.
5. Розвиток ковзання між деякими шарами асфальтобетону (неповне зчеплення).

Перш ніж запропоновані критерії граничного стану можна буде застосувати до проектування нових дорожніх одягів і шарів посилення при капітальному ремонті для відновлення покриття, необхідно вирішити ряд питань:

1. Побудувати дослідні ділянки з модулем пружності асфальтобетону, що змінюється по глибині за результатами виконаних розрахунків. Підтвердити отримані раціональні співвідношення зміни характеристик асфальтобетону по глибині результатами вимірювань загального модуля пружності статичним та динамічним методом з використанням установок FWD та HWD/ Врахувати старіння асфальтобетону в процесі експлуатації, яке може впливати як на жорсткість, так і на

характеристики втоми матеріалів. Модель старіння має бути включена для калібрування дослідних ділянок та випробування на кільцевому стенді.

2. Вплив сезонних коливань температури на асфальтобетонні шари та незв'язані матеріали необхідно встановити на ділянках сезонного моніторингу.

3. Необхідно встановити вплив на моделі неоднорідності матеріалів, конструкції покриття, навантажень і клімату, а також неоднорідності товщини шарів (невизначеності).

Перелік посилань

1. Приварников А.К. Пространственная деформация многослойного основания. // Устойчивость и прочность элементов конструкций. Днепропетровск: ДГУ, 1973. - С. 27-45.
2. Khazanovich, Lev, and Qiang (Chuck) Wang. "MnLayer." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2037, no. 1 (January 2007): 63–75. doi:10.3141/2037-06.
3. Dalla Valle, Paola, and Nick Thom. "Reliability in Pavement Design." Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress (June 30, 2016). doi:10.14311/ee.2016.033.
4. Тимошенко, С. П. Метод исследований статистических и динамических напряжений в рельсе / С. П. Тимошенко // Статистические и динамические проблемы теории упругости. К.: Наукова думка, 1975. С. 209–220.
5. Даніленко Е.І., Молчанов В.М., Даніленко Т.П. Змінність пружно-жорсткісних характеристик бокового вигину та кручення рейкової нитки залежно від відношення колісних навантажень Рдин/Ндин ДУІТ. Збірник наукових праць УкрДУЗТ, вип. 179. 2018. С. 66 – 82.
6. Радовский Б.С., Супрун А.С., Козаков И.И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей.- К.: Будивельник.-1989, 167с.
7. Гамеляк І.П. Рациональное конструирования дорожного одеягу із шарами із дисперсно--армованого асфальтобетону. М.: СоюздорНДІ. 1992.
8. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одеягу : дис... д-ра техн. наук: 05.22.11 / Національний транспортний ун-т. - К., 2005.
9. Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі. М 02070915-7112012: 2012 К.: Укравтодор, 2012. 48с.
10. Гамеляк І. П. Комп'ютерні технології проектування жорстких дорожніх одеягів / І. П. Гамеляк, О. В. Родченко // Промислове будівництво та інженерні споруди : науково-виробничий журнал. – 2020. – № 3. – С. 17-23.
11. Ullidtz, P., Kieler, T. L., & Kargo, A. (1997). Finite element simulation of asphalt fatigue testing. In *Mechanical Tests for Bituminous Materials* (pp. 233-241). CRC Press/Balkema.
12. Ullidtz P. Analytical tools for design of flexible pavements/ Technical University of Denmark. 2003. 16 p. <https://asphalt.org/downloads/Keynote2002.pdf>
13. Wu, R.-Z. Finite Element Analyses of Reflective Cracking in AsphaltConcrete Overlays.PhD dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, 2005.
14. Wei Zhang, Per Ullidtz and Robin Macdonald. Robin Macdonald ... Pavement Subgrade Performance Study - Part II – Vejdirektoratet. The Technical University of Denmark. 1988/ 147 p. https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/pavement_subgrade_performance_study_0.pdf
15. Напряженно-деформированное состояние многослойных составных оболочек вращения/ Рассказов А.О., Косенко В.И., Трач В.М. // Проблемы прочности.- 1988.- №5. - С.81 ...
16. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
17. Ullidtz P. Pavement analysis. Developments in Civil Engineering, V.19. Elsevier Science Published. NY/ USA. 1987. 315 p.
18. Ullidtz, Per; Harvey, John T;Tsai, Bor-Wen;Monismith, Carl L. Calibration of Incremental-Recursive Flexible Damage Models in CalME Using HVS Experiments. 2005. 222 p. <https://escholarship.org/uc/item/59m8m9m1>
19. Katalog vozoviek mestnych komunikacii/ CAST – B/ Technicke podmienky/ Bratislava/ 1987// 59 p.

20. Abu Bakito Container terminal and intermodal rail yard operational area consideration for pavement design. Kilroy Airport Way, Suite 600, Long Beach, California. https://www.academia.edu/9773741/Container_terminal_and_intermodal_rail_yard_operational_area_consideration_for_pavement_design.

21. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие. Ч. 1 / Трощенко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.О. – К.: Наук. думка, 1993. – 286 с

22. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению при сложном напряженном состоянии. – К.: Наук. думка, 1969. – 211 с.

COMPUTER DESIGN OF MULTI-LAYER ASPHALT CONCRETE SURFACES FOR HIGHWAYS AND AIRPORTS

Gameliak Igor P., Doctor of Engineering Sciences, professor, head of department transport infrastructure objects system design and geodesy, National Transport University, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0001-9246-7561.

Dmytrychenko Andriy M., candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Associate Professor, associate professor of department transport law and logistic, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1 orcid.org/0000-0001-6144-7533.

Davydenko Oleksandr O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures, ORCID: 0000-0003-0176-3256, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, National Transport University

References

1. Pryvarykov A.K. Prostranstvennaia deformatsiya mnohosloinoho osnovaniya. // Ustoichyost y prochnost elementov konstruktsyi. Dnepropetrovsk: DHU, 1973. - S. 27-45.
2. Khazanovich, Lev, and Qiang (Chuck) Wang. "MnLayer." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2037, no. 1 (January 2007): 63–75. doi:10.3141/2037-06.
3. Dalla Valle, Paola, and Nick Thom. "Reliability in Pavement Design." Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress (June 30, 2016). doi:10.14311/ee.2016.033.
4. Tymoshenko, S. P. Metod yssledovanyi statystycheskykh y dynamycheskykh napriazheniy v relse / S. P. Tymoshenko // Statystycheskye y dynamycheskye problemy teoryi uprugosti. K.: Naukova dumka, 1975. S. 209–220.
5. Danilenko E.I., Molchanov V.M., Danilenko T.P. Zminnist pruzhno-zhorstkisnykh kharakterystyk bokovoho vyhyngu ta kruchennia reikovoï nytky zalezho vid vidnoshennia kolisnykh navantazhen Pdyn/Hdyn DUIT. Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT, vyp. 179. 2018. S. 66 – 82.
6. Radovskyi B.S., Suprun A.S., Kozakov Y.Y. Proektyrovanye dorozhnykh odezhd dlia dvyzheniya bolshehruznykh avtomobylei.- K.: Budyválnyk.-1989, 167s.
7. Gameliak I.P. Ratsionalne konstruiuvannya dorozhnoho odiahu iz sharamy iz dyspersno-armovanoho asfaltobetonu. M.: SoiuzdorNDI. 1992.
8. Gameliak I. P. Osnovy zabezpechennia nadiinosti konstruktsii dorozhnoho odiahu : dys... d-ra tekhn. nauk: 05.22.11 / Natsionalnyi transportnyi un-t. - K., 2005.
9. Metodyka z rozrakhunku zminy zhorstkosti ta mitsnosti paketu asfaltobetonnykh shariv v zalezhnosti vid stokhastychnoi zminy temperaturnoho rezhymu povitria v richnomu tsykli. M 02070915-7112012: 2012 K.: Ukravtodor, 2012. 48с.
10. Gameliak I. P. Kompiuterni tekhnolohii proektuvannya zhorstkykh dorozhnykh odiahiv / I. P. Gameliak, O. V. Rodchenko // Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy : nauково-vyrobnychi zhurnal. – 2020. – № 3. – S. 17-23.
11. Ullidtz, P., Kieler, T. L., & Kargo, A. (1997). Finite element simulation of asphalt fatigue testing. In Mechanical Tests for Bituminous Materials (pp. 233-241). CRC Press/Balkema.
12. Ullidtz P. Analytical tools for design of flexible pavements/ Technical University of Denmark. 2003. 16 p. <https://asphalt.org/downloads/Keynote2002.pdf>

13. Wu, R.-Z. Finite Element Analyses of Reflective Cracking in Asphalt Concrete Overlays. PhD dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, 2005.
14. Wei Zhang, Per Ullidtz and Robin Macdonald. Robin Macdonald ... Pavement Subgrade Performance Study - Part II – Vejdirektoratet. The Technical University of Denmark. 1988/ 147 p. https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/pavement_subgrade_performance_study_0.pdf
15. Napriazhenno-deformirovannoe sostoianye mnohosloinnykh sostavnykh obolochek vrashcheniya/ Rasskazov A.O., Kosenko V.Y., Trach V.M. // Problemy prochnosti.- 1988.- №5. - S.81 ...
16. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia.
17. Ullidtz P. Pavement analysis. Developments in Civil Engineering, V.19. Elsevier Science Published. NY/ USA. 1987. 315 p.
18. Ullidtz, Per; Harvey, John T; Tsai, Bor-Wen; Monismith, Carl L. Calibration of Incremental-Recursive Flexible Damage Models in CalME Using HVS Experiments. 2005. 222 p. <https://escholarship.org/uc/item/59m8m9m1>
19. Katalog vozoviek mestnykh komunikacii/ CAST – B/ Technicke podmienky/ Bratislava/ 1987// 59 p.
20. Abu Bakito Container terminal and intermodal rail yard operational area consideration for pavement design. Kilroy Airport Way, Suite 600, Long Beach, California. https://www.academia.edu/9773741/Container_terminal_and_intermodal_rail_yard_operational_area_consideration_for_pavement_design.
21. Soprotivlenye materialov deformirovaniyu y razrusheniyu. Spravochnoe posobie. Ch. 1 / Troshchenko V.T., Krasovskiy A.Ia., Pokrovskiy V.V., Sosnovskiy L.A., Stryzhalo V.O. – K.: Nauk. dumka, 1993. – 286 c
22. Pysarenko H.S., Lebedev A.A. Soprotivlenye materialov deformirovaniyu y razrusheniyu pry slozhnom napriazhennom sostoianyy. – K.: Nauk. dumka, 1969. – 211 c.

УДК 625.72
UDC 625.72

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-041-046

**ТРАНСПОРТНА БЕЗПЕКА: РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ
БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В ЩІЛЬНИХ ПОТОКАХ**

**TRANSPORT SAFETY: DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING
ROAD TRAFFIC SAFETY IN DENSE FLOWS**



Гусєв Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Транспортні технології», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: alex.2017.tu@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0420-0443>



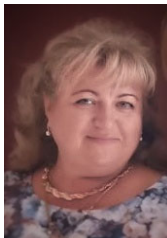
Гальона Інеса Іванівна, кандидат технічних наук, кандидат юридичних наук доцент кафедри «Транспортні технології», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ntu.tt.inesa@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1484-1682>



Федоренко Ірина Олександрівна, аспірант, асистент кафедри «Транспортні технології», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: levytska12332@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8690-5673>



Герасименко Алла Володимирівна, старший викладач кафедри «Аеропорти», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: a_gerasimenko@yandex.ua

<https://orcid.org/0000-0001-7038-3703>

Анотація. Наукові дослідження та практика автотехнічної експертизи свідчать про те, що до 80 % всіх ДТП виникають з вини водія. В багатьох випадках основною причиною ДТП є недотримання водієм безпечної дистанції руху, що унеможливорює своєчасну реакцію на виникнення небезпечних ситуацій. Це також стосується усіх типових небезпечних дорожньо-транспортних ситуацій. В той же час, в більшості випадків існує початковий період часу, протягом якого водій має можливість уникнути ДТП, вибравши безпечну швидкість руху або зупинивши автомобіль. Оскільки рухаючись у транспортному потоці (особливо в режимі зв'язаного руху) водій часто обмежений у виборі швидкості, але може вільно вибирати дистанцію, проблема вибору безпечної швидкості руху (БШР) безпосередньо пов'язана з проблемою вибору безпечної дистанції слідування (БДС). Тому в умовах руху автомобіля в щільному потоці тільки від рівня підготовки водія залежить чи буде безпечним вибраний ним інтервал слідування. У статті розглянуті підходи, принципи та алгоритми розробки інноваційних заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху в щільних потоках з використанням

теорії системного аналізу та теорії ймовірності. здійснений аналіз умов руху в потоці дозволяє встановити зв'язок між середнім інтервалом руху і безпечними інтервалами слідування зв'язних та вільних ТЗ. Результати представлені авторами залежності дозволяють сформулювати рекомендації для водіїв, що рухаються в потоці. Розроблені вимоги та рекомендації щодо забезпечення безпеки руху, зокрема, в щільних потоках. Отримані результати та математичні залежності дозволяють розробити рекомендації щодо розташування технічних засобів регулювання дорожнього руху тощо. Сформульовані рекомендації щодо перспективних подальших наукових досліджень, що будуть спрямовані як на підвищення безпеки руху у щільних потоках так і розробки заходів регулювання дорожнього руху. Як окрема рекомендація, результати можуть бути застосовані для проектування системи заходів щодо безпеки руху громадського (пасажирського) транспорту та удосконалення технологій пасажирських перевезень.

Ключові слова: щільні потоки, безпека дорожнього руху, безпечної дистанції слідування, щільність розподілу часових інтервалів руху.

Постановка проблеми. За світовими статистичними даними від 70 % до 80 % усіх ДТП [1, 2] виникають з вини водіїв. Аналіз причин аварійності і практика автотехнічної експертизи показують, що в більшості випадків існує початковий період часу, протягом якого водій має можливість уникнути ДТП, вибравши безпечну швидкість руху або зупинивши автомобіль [2, 3, 4, 5]. Оскільки рухаючись у транспортному потоці (особливо в режимі зв'язаного руху) водій часто обмежений у виборі швидкості, але може вільно вибирати дистанцію, проблема вибору безпечної швидкості руху (БШР) безпосередньо пов'язана з проблемою вибору безпечної дистанції слідування (БДС). Тому в умовах руху автомобіля в щільному потоці тільки від рівня підготовки водія залежить чи буде безпечним вибраний ним інтервал слідування.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій

Визначенням динамічного габариту та дистанції слідування займалися Хом'як Я.В., Брайловський Н.О., Єресов В.І. та інші для цілей вивчення закономірностей та параметрів дорожнього руху, розрахунку пропускної здатності дороги тощо. Також сучасні закордонні дослідження, пов'язані із безпекою дорожнього руху в щільних потоках слід виконували YuYu Zhu, QingE Wu, Na Xiao [6], Rodriguez M., Fathy H. [7], Junwei Z. [8], Tajdari, F. & Roncoli, C. [9] тощо.

В той же час, питання забезпечення безпеки руху за рахунок встановлення водієм БДС, врахування психофізіологічних параметрів водіїв, рівня профмайстерності тощо не вивчалися. Ці аспекти не досліджені, не систематизовані та не формалізовані у математичному вигляді та потребують, за думкою авторів цього дослідження,

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є забезпечення підвищення транспортної безпеки та безпеки дорожнього руху в щільних потоках за рахунок створення математичної моделі безпечної дистанції слідування.

Завдання дослідження:

- дослідити щільність розподілу часових інтервалів руху в зв'язаних транспортних потоках;
- визначити математичне очікування інтервалу руху транспортного засобу;
- встановити зв'язок між середнім інтервалом руху і безпечними інтервалами слідування зв'язних та вільних транспортних засобів.

Основна частина дослідження

Першим етапом наукової роботи авторів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху в щільних потоках є визначення розміру БДС для різних умов руху автомобілів на дорозі.

Аналітичний вираз динамічного габариту, одержаний для випадку термінової зупинки автомобіля, який рухається попереду (що має місце у випадку виникнення небезпечної дорожньо-транспортної ситуації (НДТС) ("гальмівний шлях") має вид:

$$S_{БДС} \geq \frac{t_p v}{3,6} + \frac{v^2 K_e}{254 \phi} + \frac{t_T v}{3,6} + l_o \quad (1)$$

де t_p – час реакції водія, що включає час з моменту появи небезпечної дорожньо-транспортної ситуації (НДТС) до моменту прийняття рішення про термінове гальмування; t_T – час спрацювання гальмівного механізму автомобіля; K_e – коефіцієнт ефективності гальмівної системи автомобіля; v – швидкість руху автомобіля при виникненні НДТС; l_0 – запас шляху між автомобілями після повної зупинки ($l_0 = 1\text{ м}$); φ – коефіцієнт зчеплення колес автомобіля з поверхнею проїзної частини.

Таким чином, граничне значення БДС (при записі формули (1) у вигляді рівняння) визначається, з одного боку, швидкістю руху, коефіцієнтом зчеплення автомобіля з поверхнею проїзної частини, ефективністю та швидкістю спрацювання його гальмівної системи, з другого, – часом реакції водія, що характеризує рівень підготовленості останнього до руху в потоці і до прогнозування НДТС.

Визначення БДС за формулою (1) має сенс тільки в насичених потоках або у разі колонного руху за лідером, коли відсутня можливість обгону транспортних засобів.

Очевидно, що коли водій може довільно вибирати дистанцію руху, граничне значення БДС визначається тільки першою складовою виразу (1), тобто:

$$S_{\text{БДС}} \geq \frac{t_p v}{3,6} + l'_0, \quad (2)$$

де l'_0 – запас шляху, м, необхідний для зміни рядності руху при виконанні обгону, який залежить від швидкості руху [3]:

V, км/год	20	40	60	80	100
l'_0 , м	5	8	10	13	15

При русі у зв'язному потоці, особливо при інтенсивностях, близьких до пропускної спроможності дороги, фактичне значення БДС не відповідає визначеному за формулою (1). Так, за даними Н.О. Брайловського пропускна спроможність однорідного потоку легкових автомобілів 2000 авт/год забезпечує середню дистанцію слідування майже в 1,5 разів меншу, ніж БДС, визначена за формулою (1) при швидкості у режимі пропускної спроможності 14 м/с. Це пояснюється тим, що частина водіїв, маючи можливість здійснення обгону, витримують безпечну дистанцію згідно з (2), що й дає загальне зниження середнього інтервалу слідування залежно від можливості здійснення обгону при виникненні НДТС.

З метою встановлення зв'язку середнього інтервалу руху в потоці з безліччю БДС авторами проведено дослідження механізму руху в щільних потоках.

Щільність розподілу часових інтервалів руху в зв'язаних транспортних потоках [2, 3]:

$$f(t) = \alpha \lambda e^{-\lambda t} + (1 - \alpha) \frac{1}{2} \Omega^3 t^2 e^{-\Omega t}, \quad (3)$$

де λ – інтенсивність руху; α – зона транспортного засобу, що повільно рухається; $\Omega = a\lambda$ – параметр зв'язного потоку, приведенного до вільного (a – коефіцієнт приведення).

Значення α можна порівняти ($1 - z$), де $z = \lambda / \lambda_{\text{max}}$ – коефіцієнт завантаження дороги; λ_{max} – пропускна спроможність дороги.

Визначимо математичне очікування інтервалу руху транспортного засобу (ТЗ) в потоці:

$$M(t) = t_{\text{CP}} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \frac{\alpha}{\lambda} + \frac{3(1 - \alpha)}{a\alpha} \quad (4)$$

З виразу (4) випливає, що при інтенсивностях руху, близьких до пропускної спроможності ($z = 0,75 \dots 0,8$), тобто при $a = 0,2 \dots 0,25$, середній інтервал руху t_{CP} практично не залежить від значення α і значною мірою визначається коефіцієнтом приведення зв'язного потоку до вільного a .

Формула (4) дозволяє за середнім значенням інтервалу руху t_{cp} і коефіцієнтом завантаження дороги z визначити коефіцієнт a , що характеризує ступінь зв'язності потоку.

Знаючи a , α та λ для конкретного потоку, можна за формулою (3) обчислити імовірність здійснення обгону P_{OB} . У загальному випадку для здійснення обгону потрібне виконання двох умов: необхідності обгону і можливості обгону. Оскільки обидві умови є випадковими, визначимо їх відповідні імовірності P_H і P_M , що дозволяє записати імовірність здійснення обгону:

$$P_{OB} = P_H P_M \quad (5)$$

Імовірність появи необхідності в обгоні впливатиме з умови досягнення водієм граничного значення $S_{БДС}$ згідно з (2), яке визначить мінімальний часовий інтервал слідування:

$$t_{OB} = \frac{S_{БДС}^{CB}}{v} \quad (6)$$

Тоді, враховуючи (3):

$$P_M = \int_{t_{OB}}^{\infty} [\alpha_{PP} \lambda_{PP} \cdot e^{-\lambda_{PP} t} - \frac{(1 - \alpha_{PP}) \Omega_{PP}^3 t^2}{2e^{-\Omega_{PP} t}}] dt, \quad (7)$$

де індекс «PP» відноситься по потоку, в якому рухається розглядуваний транспортний засіб. З другого боку, обгін можливий при наявності інтервалу часу t_{OB} у зустрічному потоці транспорту, достатньому для обгону, тобто:

$$P_M = \int_{t_{OB}}^{\infty} [\alpha_{OB} \lambda_{OB} \cdot e^{-\lambda_{OB} t} - \frac{(1 - \alpha_{OB}) \Omega_{OB}^3 t^2}{2e^{-\Omega_{OB} t}}] dt, \quad (8)$$

де індекс «OB» відноситься до зустрічного потоку (для дороги з двосмуговим рухом) або до потоку на сусідній смузі дороги з багатосмуговим рухом.

У загальному випадку значення t_{ob} залежить від швидкості руху і кількості засобів, яких було обігнане:

$$t_{OB} = \frac{2l_0 + l_a}{v_B} \quad (9)$$

де l_a – довжина ТЗ, якого обігнане (при обгоні двох ТЗ – це відстань між переднім бампером переднього та заднім бампером заднього ТЗ, що їх обігнане); v_B – відносна швидкість обгону (рекомендується $v_B > 10$ км/год).

Реальне значення t_{OB} знаходиться в межах 10...30 с [3]. В таблиці 1 показані імовірності появи обгону P_{OB} на дорозі з двосмуговим рухом при різних значеннях t_{OB} (1 – для $t_{OB} = 7$ с; 2 – для $t_{OB} = 10$ с; 3 – для $t_{OB} = 20$ с; 4 – для $t_{OB} = 30$ с).

Маючи значення a , α та λ для прямого та зустрічного потоків, можна за допомогою (5) з врахуванням (6) – (9) визначити імовірності обгонів ТЗ в прямому потоці. В свою чергу, це дозволяє визначити кількість інтервалів руху $N_{БДС}$ і $N_{БДС}^{CB}$, відповідних виразам (1) і (2), які спостерігалися протягом години, тобто:

$$T_{БДС} = \lambda_{PP} (1 - P_{OB}), \quad (10)$$

$$N_{БДС}^{CB} = \lambda_{PP} P_{OB}, \quad (11)$$

а також середній інтервал руху ТЗ в потоці:

$$d_{CP} = \frac{S_{БДС} N_{БДС} + S_{БДС}^{CB} N_{БДС}^{CB}}{N_{БДС} + N_{БДС}^{CB}} \quad (12)$$

Таблиця 1 – Розрахункові імовірності появи можливості обгону залежно від інтенсивності транспортного потоку N на дорозі з двосмуговим рухом

Table 1 – Estimated probabilities of an overtaking opportunity depending on the intensity of traffic flow N on a two-lane road

N, авт/год	P_M			
	t_{OB}, c			
	7	10	20	30
100	0,33	0,29	0,18	0,1
300	0,15	0,11	0,05	0,02
500	0,07	0,05	0,03	0,01

Висновки. Таким чином, здійснений аналіз умов руху в потоці дозволяє встановити зв'язок між середнім інтервалом руху і безпечними інтервалами слідування зв'язних та вільних ТЗ.

Одержані авторами результати та математичні залежності дозволяють:

1. сформулювати рекомендації для водіїв, що рухаються в потоці (зокрема, для водіїв пасажирського транспорту);
2. розробити вимоги та рекомендації щодо забезпечення безпеки руху, зокрема, в щільних потоках;
3. обґрунтувати рекомендації щодо розташування технічних засобів регулювання дорожнього руху;
4. сформулювати рекомендації щодо перспективних подальших наукових досліджень, що будуть спрямовані як на підвищення безпеки руху у щільних потоках так і розробки заходів регулювання дорожнього руху.

Перелік посилань

1. WHO World Road Accidents Statistics Data. – Geneva: WHO, 2015. – 423 p.
2. Gusev O.V. Improving the road transport safety / O.V. Gusev // Visnyk NTU. 2004. No. 9. P. 98 – 103. (Engl.)
3. Gusev A.V. The development of prediction models / A.V. Gusev // Highways and highway construction, #7, Kiev, NTU, 2004. – P. 77–79.
4. Гусєв О.В. Підвищення безпеки руху автомобільного транспорту з урахуванням ефективності зорових дій водія. / О.В.Гусєв // Автореф. дис. канд.техн.наук. – К.: УТУ, 1995. – 21 с.
5. Гусєв О.В. Забезпечення зберігання та безпеки вантажів на транспорті: [учбовий посібник] / О.В. Гусєв. – К.: НТУ, 2005. – 156 с.
6. Yuyu Zhu, QingE Wu, Na Xiao Research on highway traffic flow prediction model and decision-making method / <https://www.nature.com/articles/s41598-022-24469-y>.
7. Rodriguez M., Fathy H. Vehicle and traffic light control through gradient-based coordination and control barrier function safety regulation. J. Dyn. Syst. Meas. Contr. 144(01), 1104–1115 (2022).
8. Junwei Z. et al. Expressway traffic flow under the combined bottleneck of accident and on-ramp in framework of Kerner's three-phase traffic theory. Phys. A 574(4), 1–11 (2021).
9. Tajdari F., Roncoli C. Traffic control at motorway bottlenecks with time-varying fundamental diagram. IFAC-Pap. OnLine 54(02), 271–277 (2021).

TRANSPORT SAFETY: DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING ROAD TRAFFIC SAFETY IN DENSE FLOWS

Gusiev Oleksandr V., Ph.D., Associate Professor, Department of Transport Technologies, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: alex.2017.tu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0420-0443>

Halona Inesa I., candidate of technical sciences, candidate of legal sciences, associate professor of the "Transport Technologies" department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ntu.tt.inesa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1484-1682>

Fedorenko Iryna O., postgraduate student, Department of Transport Technologies, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: levytska12332@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8690-5673>

Gerasimenko Alla V., Senior Lecturer of the department "Airports", National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: a_gerasimenko@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7038-3703>

Abstract. Scientific research and the practice of auto technical expertise show that up to 80% of all road accidents are caused by the faults of the driver. In many cases, the main cause of road accidents is the driver's failure to maintain a safe driving distance, which makes it impossible to react in a timely manner to the occurrence of dangerous situations. This also applies to all typical dangerous traffic situations. At the same time, in most cases there is an initial period of time during which the driver has the opportunity to avoid an accident by choosing a safe speed or stopping the car. Since when moving in the traffic flow (especially in the mode of connected traffic) the driver is often limited in the choice of speed, but can freely choose the distance, the problem of choosing a safe speed of movement (BSHR) is directly related to the problem of choosing a safe following distance (SFD). Therefore, in the conditions of driving a car in a dense flow, only the level of training of the driver depends on whether the following interval chosen by him will be safe. The article examines approaches, principles and algorithms for the development of innovative measures to improve traffic safety in dense traffic using the theory of system analysis and the theory of probability. The performed analysis of traffic conditions in the stream allows establishing a connection between the average movement interval and safe intervals for following connected and free vehicles. The results presented by the authors of the dependence allow for the formulation of recommendations for drivers moving in the flow. Developed requirements and recommendations for ensuring traffic safety, in particular, in dense streams. The obtained results and mathematical dependencies make it possible to develop recommendations regarding the location of technical means of traffic regulation, etc. Recommendations for promising further scientific research aimed at increasing the safety of traffic in dense streams and the development of traffic regulation measures have been formulated. As a separate recommendation, the results can be applied to the design of a system of measures for the safety of public (passenger) transport and improvement of passenger transport technologies.

Keywords: dense flows, road traffic safety, safe following distance, density of distribution of traffic time intervals.

References

1. WHO World Road Accidents Statistics Data. – Geneva: WHO, 2015. – 423 p.
2. Gusev O.V. Improving the road transport safety / O.V. Gusev // Visnyk NTU. 2004. No. 9. P. 98 – 103. (Engl.)
3. Gusev A.V. The development of prediction models / A.V. Gusev // Highways and highway construction, #7, Kiev, NTU, 2004. – P. 77–79.
4. Gusiev O.V. Advancement of the safety of road transport with the improvement of the efficiency of wild water. / O.V. Gusev // Abstract of the thesis. dis. Candidate of Technical Sciences - K.: UTU, 1995. - 21 p. [in Ukrainian language].
5. Gusiev O.V. Safety and security of interests in transport: [textbook] / O.V. Gusev. – K.: NTU, 2005. – 156 p. [in Ukrainian language].
6. Yuyu Zhu, QingE Wu, Na Xiao Research on highway traffic flow prediction model and decision-making method / <https://www.nature.com/articles/s41598-022-24469-y>.
7. Rodriguez M., Fathy H. Vehicle and traffic light control through gradient-based coordination and control barrier function safety regulation. J. Dyn. Syst. Meas. Contr. 144(01), 1104–1115 (2022).
8. Junwei Z. et al. Expressway traffic flow under the combined bottleneck of accident and on-ramp in framework of Kerner's three-phase traffic theory. Phys. A 574(4), 1–11 (2021).
9. Tajdari F., Roncoli C. Traffic control at motorway bottlenecks with time-varying fundamental diagram. IFAC-Pap. OnLine 54(02), 271–277 (2021).

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ПЛЕКСИГЛАСУ ДЛЯ ШУМОЗАХИСНИХ
ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

NOISE PROTECTION PRINCIPLES OF HIGHWAY CONSTRUCTION



Ільченко Володимир Васильович, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Першотравневий проспект, 24, Полтава, Полтавська область, 36011 e-mail: znpbud@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0346-8218>



Дорожко Євген Вікторович кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, e-mail: evgeniy.dorozhko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2894-2131>

Анотація. Одним з найефективнішим засобом боротьби з шумовим навантаженням від автомобільної дороги є встановлення шумозахисних екранів вздовж автомобільної дороги. Вони можуть бути з різних матеріалів, різні за конструкцією та геометричними параметрами.

Досить широке розповсюдження на автомобільних дорогах отримали шумозахисні екрани з плексигласу.

Плексиглас є екологічно чистим продуктом на основі поліметилметакрилату. Інша його назва - акрил, і його відносять до виду штучних органічних пластмас. Основа матеріалу - термопластичні акрилові смоли, точніше, одна або кілька похідних карбонової одноосновної кислоти. Це компоненти, що добре пропускають світло.

Хімічна формула акрила та ж, що й у оргстекла - $(C_5O_2H_8)_n$, але додатково до його складу входить безліч добавок, що додають структурі термопласту особливі властивості, такі як твердість, гнучкість, стійкість до механічних навантажень і пошкоджень, а також пігментів, потрібних для отримання конкретного кольору [1].

Зараз існує два різновиди матеріалу.

- Plexiglas XT - ця продукція виготовляється із застосуванням екструдера. Під тиском метилметакрилат проходить через формуючий інструмент обладнання, і з розплаву отримуються вироби у вигляді суцільних панелей товщиною не більше 25 мм, а також стрижні, округлі профілі, листи з хвилястою і відбиваючою поверхнею. Такий пластик має підвищену еластичність і гнучкість, його простіше перетворювати в різні форми, але при високій температурі він дає невелику садибу, а міцність його залишає бажати кращого.

- Більш міцним вважається лите акрилове скло Plexiglas GS, отримане за допомогою полімеризації на етапі формування заготовки з акрилу під впливом активатора. Під час цього

хімічного процесу молекули скла шикуються в міцні довгі ланцюги, і таким чином досягається максимальна міцність виробу. Його поширені форми - труби, блоки з різною товщиною, монолітні листи, що відрізняються стійкістю до деформації, агресивних середовищ. Але показники гнучкості у цього виду набагато нижчі, ніж у екструзійного варіанту.

●Загалом акрилове скло має підвищену ударну міцність, яка в 5 разів перевершує цей параметр у звичайного скла. [1]

Відмінні характеристики виробу обумовлені його фізичними властивостями:

- несприйнятливості до дії сонячних променів, відсутності змін кольору та побажання;
- міцність вища, ніж у кварцового скла;
- висока світлопроникність і здатність зберігати тепло завдяки малій теплопровідності;
- стійкість до мікроорганізмів, агресивної хімії, великої амплітуди температур, вологи;
- легкість порівняно зі звичайним склом при мінімальному шарі в 1 мм (вага 1 кв. м становить всього 1,2 кг);

●при горінні виробу з оргстекла не виділяють шкідливих випарів, також матеріал при пошкодженні не утворює небезпечних гострих осколків;

●полімер легко розрізати і надати йому будь-яку необхідну форму;

●матеріал гігієнічний, не вимагає складного догляду, за рахунок того що його поверхня гладка, і на ній не накопичуються бруд і частинки пилу.

Водночас цей чудовий синтетичний матеріал має кілька мінусів: вироби з нього схильні до зовнішніх пошкоджень, а також легко загоряються [1].

Ключові слова: шумове навантаження, шумопоглинаючі конструкції, плексиглас, стійкість до зовнішніх факторів, міцність, транспортні засоби.

Вступ. Встановлення шумозахисних екранів вздовж автомобільних доріг є одним із найбільш ефективних методів зменшення шумового навантаження, спричиненого дорожнім рухом. Ці екрани можуть мати різні конструкції, геометричні параметри та виготовлятися з різних матеріалів. Зокрема, шумозахисні екрани з плексигласу здобули значну популярність на автомобільних дорогах.

У цій статті ми розглянемо переваги та недоліки використання плексигласу в конструкціях шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Проблема та її актуальність. Проблема використання різного роду матеріалів в будівництві, монтажу шумозахисних екранів на автомобільних дорогах існує значний час. За цей час було випробувано та налагоджено виробництво екранів з різних матеріалів. Проте, досить широкого застосування отримали шумозахисні екрани з плексигласу через свої якості, такі як: легка вага, світлопропускна здатність, швидкий монтаж конструкції тощо.

Але, вже під час експлуатації, виникли ряд запитань до конструкцій з плексигласу [2] - чи достатньо вони міцні, чи дійсно вони достатньо стійкі до зовнішніх факторів.

Актуальність даної роботи обумовлена перш за все наближенням України до Європейського рівня життя, до норм шумозахисної політики та законодавства країн ЄС, де досить серйозно відносяться до акустичного комфорту громадян.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз науково-дослідних та практичних робіт [2–5] встановив, що досить багато публікацій описують позитивні якості плексигласу, як матеріалу для шумозахисних споруд, однак, про зворотні якості - негативні - матеріалу дуже мало.

Дослідження, які були проведені в роботі [3], досліджували вплив фізико-механічних параметрів матеріалів на шумопоглинаючі властивості шумозахисних екранів. За результатами роботи [4] було встановлено, що геометричні параметри екранів мають вплив на рівень шуму, незважаючи на матеріал самого екрану.

Дослідження [2] також показали, що погодні умови мають вплив на стан шумозахисної споруди, виробленої з плексигласу.

У роботі [5] порушується питання оптимальної форми шумозахисних екранів та їх впливу на візуальне сприйняття учасниками дорожнього руху. Також зазначається необхідність гармонізації форм і розмірів екранів з прилеглими житловими забудовами.

Мета дослідження полягає в вивченні задачі використання плексигласу для шумозахисних конструкцій на автомобільних дорогах. Це дослідження спрямоване на пошук шляхів для зниження шумового навантаження, що виникає внаслідок руху транспортних засобів автомобільними дорогами.

Виклад основного матеріалу досліджень. За час використання плексигласу, мали змогу помітити як переваги, так і недоліки даного матеріалу.

Переваги використання плексигласу для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах:

1. Шумозахисні властивості: Плексиглас має відмінні шумозахисні характеристики, що робить його ефективним матеріалом для зменшення рівня шуму від дорожнього руху. Він здатний поглинати і розсіювати звукові хвилі, допомагаючи знизити рівень шуму, який дістається до оточуючих зон або віддалених від дороги населених пунктів.

2. Прозорість: Плексиглас є прозорим матеріалом, що дозволяє забезпечити хорошу видимість для водіїв і пішоходів. Він не спотворює видимість і дозволяє вільно спостерігати дорожні умови та оточуюче середовище.

3. Легкість та простота встановлення: Плексиглас важить менше, ніж скло, що полегшує процес транспортування та монтажу. Він також добре піддається обробці і може бути легко вирізаний на необхідні розміри.

4. Міцність та стійкість: Плексиглас має високу міцність і стійкість до ударів, що робить його відмінним вибором для захисних бар'єрів на дорогах. Він стійкий до розривів і легше витримує зовнішні впливи, такі як погодні умови, що забезпечує довговічність матеріалу.



Рисунок - 1 Шумозахисний екран з плексигласу.

Figure - 1 Noise shield made of Plexiglas.

Але якщо переваги використовуються повсякчасно в різних сферах господарства, то недоліки помічають не так часто. Пропонується зупинитись більш детально на недоліках і проаналізувати їх.

Недоліки використання плексигласу для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах:

1. Схильність до подряпин: Плексиглас має м'якшу поверхню, ніж скло, тому він може бути більш схильним до подряпин і слідів від зношування. Це може зменшити його прозорість і зовнішній вигляд з часом.

Плексиглас, який використовується для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, має м'якшу поверхню, ніж скло. Це означає, що він може бути більш схильним до подряпин і слідів від зношування, особливо при контакті з грубими або твердими матеріалами.

Оскільки плексиглас має меншу міцність на подряпини, навіть дрібні подряпини можуть зменшити прозорість матеріалу і вплинути на його зовнішній вигляд з часом. Це особливо помітно на сонячному світлі або при штучному освітленні, коли подряпини можуть створювати відблиски та розсіювати світло, що може знизити якість видимості.

Для запобігання подряпинам і зношуванню плексигласу можуть використовуватись захисні покриття або спеціальні полімерні плівки. Ці покриття можуть забезпечити додаткову захист від подряпин і зберегти прозорість матеріалу протягом тривалого періоду.

Важливо також зазначити, що плексиглас може бути легше відновлений в разі подряпин, ніж скло. Дрібні подряпини можуть бути поліровані або видалені за допомогою спеціальних полірувальних засобів або технік. Однак, великі або глибокі подряпини можуть вимагати заміни панелі з плексигласу.

Загалом, схильність до подряпин є одним з недоліків плексигласу для шумозахисних екранів. Його зовнішній вигляд та прозорість можуть поступово погіршуватись з часом через накопичення подряпин і слідів від зношування.

2. Вплив UV-випромінювання: Плексиглас може піддатися пожовтінню та деградації при тривалому впливі ультрафіолетового (UV) випромінювання. Це може призвести до зміни зовнішнього кольору і зниження прозорості матеріалу.

Плексиглас може піддаватися пожовтінню та деградації при тривалому впливі ультрафіолетового (UV) випромінювання. UV-випромінювання від сонця є потужним фактором, який може впливати на структуру та властивості плексигласу.

Під впливом UV-випромінювання молекули плексигласу можуть піддаватися фотохімічним реакціям, що призводить до зміни хімічної структури матеріалу. Це може спричинити зміну зовнішнього кольору плексигласу з часом, включаючи пожовтіння або зміну відтінку. Крім того, деградація матеріалу може вплинути на його прозорість, знижуючи якість видимості через матеріал.

Щоб запобігти цим проблемам, плексиглас може бути оброблений або покритий спеціальними захисними покриттями, які містять стабілізатори проти UV-випромінювання. Ці покриття можуть забезпечити додатковий захист від UV-променів та допомогти зберегти яскравість і прозорість плексигласу протягом тривалого часу. Однак, з часом і залежно від рівня експозиції до UV-випромінювання, можуть все ж відбуватись деякі зміни в зовнішньому вигляді плексигласу.

Важливо враховувати, що рівень впливу UV-випромінювання може залежати від кліматичних умов та місця встановлення шумозахисних екранів. Якщо область має високу інтенсивність сонячного випромінювання, заслонки можуть вимагати регулярного обслуговування та підтримки, щоб зберегти свою якість та ефективність.

3. Термічна розширюваність: Плексиглас має вищий коефіцієнт термічної розширюваності порівняно зі склом. При значних змінах температури він може розширюватися або скорочуватися, що може призвести до напружень і пошкоджень конструкції.

Плексиглас має вищий коефіцієнт термічної розширюваності порівняно зі склом. Це означає, що при зміні температури плексиглас може розширюватися або скорочуватися більше, ніж скло. Ця термічна розширюваність може створювати напруження та потенційно призвести до пошкоджень конструкції шумозахисного екрана.

При підвищенні температури плексиглас розширюється, а при зниженні температури звужується. Якщо шумозахисний екран встановлений без врахування цього фактора, можуть виникати проблеми, такі як розриви, тріщини або деформація матеріалу.

Одним з способів запобігти проблемам, пов'язаним з термічною розширюваністю плексигласу, є врахування цього фактора при проектуванні та встановленні шумозахисного екрана. Використання компенсаторів розширення або з'єднувальних елементів, які дозволяють плексигласу розширятися або скорочуватися без пошкоджень, може бути ефективним рішенням.

Крім того, важливо враховувати потенційні зміни температури, які можуть відбуватися в зоні встановлення шумозахисного екрана. Наприклад, експозиція до прямих сонячних променів або близькість до джерел тепла можуть призводити до значних змін температури. Врахування цих факторів при проектуванні та розміщенні шумозахисних екранів може допомогти уникнути проблем, пов'язаних з термічною розширюваністю плексигласу.

Загалом, термічна розширюваність плексигласу є важливим питанням, яке потрібно враховувати при використанні його для шумозахисних екранів. Планування, конструювання та встановлення з урахуванням цього фактора може допомогти забезпечити стійкість та довговічність конструкції.

4. Витрати: В порівнянні зі склом, плексиглас може бути дорожчим матеріалом. Це може вплинути на вартість встановлення і підтримки шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Плексиглас може бути дорожчим матеріалом порівняно зі склом. Це пов'язано з рядом факторів, таких як виробництво, обробка та властивості матеріалу. Витрати на плексиглас можуть бути вищими через складність його виготовлення та спеціальні технології, необхідні для отримання бажаної якості та властивостей.

Окрім витрат на сам матеріал, встановлення і підтримка шумозахисних екранів з плексигласу також можуть зазнавати впливу на вартість. Інсталяція плексигласових екранів може вимагати спеціальних методів кріплення та конструкцій, що можуть бути витратними. Крім того, ремонт або заміна пошкоджених плексигласових екранів також може бути витратним завданням.

Проте, варто враховувати, що витрати на плексиглас можуть бути оправданими через його переваги. Наприклад, плексиглас є легшим матеріалом, що спрощує транспортування та обробку. Він також має високу міцність на удари і легше відновлюється від подряпин, що може знизити витрати на довгострокове утримання і ремонт.

Крім того, плексиглас може мати кращі звукоізоляційні властивості, що може забезпечити вищу ефективність шумозахисного екрану. Це може зробити його вибір оптимальним, незважаючи на вищі початкові витрати.

У кінцевому підсумку, хоча плексиглас може бути дорожчим матеріалом для шумозахисних екранів порівняно зі склом, варто розглянути його переваги і ефективність при плануванні інфраструктурних проектів. Врахування довгострокової вартості встановлення, утримання та переваг плексигласу може допомогти зробити обґрунтований вибір відповідно до конкретних потреб і обмежень проекту.

Висновки. Використання плексигласу для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах може мати свої переваги та недоліки. Плексиглас має високу прозорість, міцність на удари і звукоізоляційні властивості, що робить його ефективним в зменшенні рівня шуму. Однак, існують такі фактори, як схильність до подряпин, вплив UV-випромінювання та термічна розширюваність, які можуть вплинути на його прозорість, зовнішній вигляд та стійкість в залежності від умов експлуатації.

Перед вибором плексигласу для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, важливо ретельно розглянути конкретні умови застосування та вимоги проекту. Наприклад, якщо шумозахисний екран розташований в області з високим рівнем зносу або піддається інтенсивному UV-випромінюванню, можуть знадобитися додаткові заходи для захисту плексигласу від пошкоджень та деградації.

Також варто розглянути інші альтернативні матеріали для шумозахисних екранів, які можуть відповідати вимогам проекту. Наприклад, скло теж може бути використано як матеріал для шумозахисних екранів і має свої власні переваги та недоліки, які варто враховувати при порівнянні з плексигласом.

Узагальнюючи, використання плексигласу для шумозахисних екранів на автомобільних дорогах може бути ефективним рішенням, але вимагає детального розгляду конкретних умов застосування та

врахування переваг та недоліків матеріалу. Ретельне планування та проектування з урахуванням цих факторів може допомогти забезпечити оптимальний шумозахист та довговічність конструкції.

Перелік посилань

- [1] Що таке плексиглас і де він застосовується <https://irinin.com/budivnytstvo/shcho-take-pleksiglas-i-de-vin-zastosovuetsya.html>. 28.12.2021
- [2] ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування
- [3] Satish-Lokhande, Divyashree S Sakhare and all. A Short Review of Road Noise Barriers Focusing on Ecological Approaches. International Journal of Engineering & Technology Sciences 2021:1-17
- [4] G. Fleming, E. Gregg, Rickley. Performance Evaluation of Experimental Highway Noise Barriers. Report No. DOT-VNTSC-FHWA-94-16 and FHWA-RD-94-093. Cambridge MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center.
- [5] Highway Noise Barrier Design Handbook. Prepared by Gregg G. Fleming, Harvey S. Knauer, Cynthia S.Y. Lee, Soren Pedersen. 2000.

NOISE PROTECTION PRINCIPLES OF HIGHWAY CONSTRUCTION

Ilchenko Volodymyr V., associate professor, *e-mail:* znpbud@gmail.com, Department "Department of Highways, Geodesy, Land Management and Rural Buildings", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Pershotravnevy prospect, 24, Poltava, Poltava region, 36000, <https://orcid.org/0000-0003-0346-8218>

Dorozhko Eugene V., associate professor, *e-mail:* evgeniy.dorozhko@gmail.com, department "road design, geodesy and land management", Kharkiv National Automobile and Road University, 25 Yaroslav Mudry Street, Kharkiv, Kharkiv region, 61002, <https://orcid.org/0000-0003-2894-2131>

Abstract. One of the most effective means of combating the noise load from the highway is the installation of noise protection screens along the highway. They can be made of different materials, different in design and geometric parameters.

Plexiglas sound-proof screens have become quite widespread on highways.

Plexiglas is an environmentally friendly product based on polymethyl methacrylate. Its other name is acrylic, and it belongs to a type of artificial organic plastics. The basis of the material is thermoplastic acrylic resins, more precisely, one or more derivatives of a monobasic carboxylic acid. These are components that transmit light well.

The chemical formula of acrylic is the same as that of plexiglass - $(C_5O_2H_8)_n$, but in addition, its composition includes many additives that add special properties to the thermoplastic structure, such as hardness, flexibility, resistance to mechanical loads and damage, as well as pigments necessary to obtain a specific color [1].

Currently, there are two types of material.

Plexiglas XT - this product is made using an extruder. Under pressure, methyl methacrylate passes through the forming tool of the equipment, and products are obtained from the melt in the form of solid panels with a thickness of no more than 25 mm, as well as rods, rounded profiles, sheets with a wavy and reflective surface. Such plastic has increased elasticity and flexibility, it is easier to transform it into various forms, but at high temperature it gives a small estate, and its strength leaves much to be desired.

Cast acrylic glass Plexiglas GS, obtained by polymerization at the stage of forming a blank from acrylic under the influence of an activator, is considered stronger. During this chemical process, the glass molecules line up in strong long chains, and thus the maximum strength of the product is achieved. Its common forms are pipes, blocks of different thicknesses, monolithic sheets that are resistant to deformation and aggressive environments. But the flexibility of this type is much lower than that of the extrusion version.

In general, acrylic glass has increased impact strength, which is 5 times higher than that of ordinary glass. [1]

The excellent characteristics of the product are due to its physical properties:

- insensitivity to sunlight, lack of color changes and desire;
- strength is higher than that of quartz glass;
- high light transmission and the ability to store heat due to low thermal conductivity;
- resistance to microorganisms, aggressive chemistry, large temperature range, moisture;
- lightness compared to ordinary glass with a minimum layer of 1 mm (the weight of 1 sq. m is only 1.2 kg);
- when burning, Plexiglas products do not emit harmful fumes, and the material does not form dangerous sharp fragments when damaged;
- the polymer is easy to cut and give it any necessary shape;
- the material is hygienic, does not require complex care, due to the fact that its surface is smooth, and dirt and dust particles do not accumulate on it.

At the same time, this wonderful synthetic material has several disadvantages: products made of it are prone to external damage, and also catch fire easily

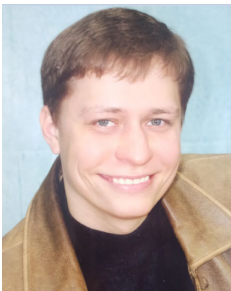
Key words: noise load, noise-absorbing structures, plexiglass, resistance to external factors, strength, vehicles.

References

- [1] Що таке плексиглас і де він застосовується <https://irinin.com/budivnytstvo/shcho-take-pleksiglas-i-de-vin-zastosovuetsya.html>. 28.12.2021
- [2] ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування
- [3] Satish-Lokhande, Divyashree S Sakhare and all. A Short Review of Road Noise Barriers Focusing on Ecological Approaches. International Journal of Engineering & Technology Sciences 2021:1-17
- [4] G. Fleming, E. Gregg, Rickley. Performance Evaluation of Experimental Highway Noise Barriers. *Report No. DOT-VNTSC-FHWA-94-16 and FHWA-RD-94-093*. Cambridge MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center.
- [5] Highway Noise Barrier Design Handbook. Prepared by Gregg G. Fleming, Harvey S. Knauer , Cynthia S.Y. Lee, Soren Pedersen. 2000.

**АРХІТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНІ РІШЕННЯ ЗАХИСТУ ТЕРИТОРІЇ
ВІД ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ ВЗДОВЖ ТРАНСПОРТНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

**ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE SOLUTIONS TO PROTECT THE TERRITORY FROM
TRAFFIC NOISE ALONG TRANSPORT HIGHWAYS**



Ласлов Сергій Володимирович, науковий співробітник кафедри «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет. Вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010.

sl25051982@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-6961-8613>

Анотація. Із огляду науково-дослідних робіт встановлено, що шумове навантаження від рухомих транспортних одиниць впливає на стан здоров'я людей, що потребує розробки ефективних конструкторських та планувальних рішень для зменшення шумового навантаження на житлові території.

Встановлено, що високі акустичні властивості має шумопоглинаюча конструкція, що складається з металевого листа та листового скла. Оскільки скло поглинає звукову енергію у широкому діапазоні частот, і що особливо важливо – навіть в області низьких частот. При цьому акустичні властивості не залежать від впливу довкілля: пилу, снігу та вологи. Вся конструкція екрану має високі звукоізоляційні властивості. Поєднання обох цих властивостей (звукопоглинаючі та звукоізоляційні) дає можливість цьому екрану ефективно захищати мешканців житлових будинків від транспортного шуму.

Встановлено, що архітектурно-ландшафтні рішення захисту територій від шумового навантаження від транспортних засобів значно знижують рівень шуму. Значне зниження шумового навантаження спостерігається за будинком. Проте застосування архітектурно-планувальних методів із шумозахисту не є завжди ефективними методами захисту житлових територій від шумового навантаження. Оскільки є ділянки де будівлі вже збудовано, або будуються, не враховуючи шумність. Крім цього, площі земельних ділянок в умовах міст є обмежені, що іноді не дозволяє виконати у повному обсязі архітектурно-ландшафтні рішення.

Встановлено, що найбільш ефективними способами захисту сельбищної території від транспортного шуму є будівництво будинків-екранів вздовж транспортних магістралей. Величина шуму за будинком зменшується до 23 дБА у порівнянні із рівнем шуму на транспортній магістралі.

Для виявлення шумового режиму на території забудови в цілому і за окремими ділянками мікрорайонів використовують карти шуму, що являють собою криві рівних рівнів, нанесені на схему плану, вони характеризують зменшення рівня шуму при віддаленні від магістралі.

Ключові слова: шумове навантаження, шумопоглинаючі конструкції, автомагістраль, рухомі транспортні засоби.

Вступ. Шумове навантаження від рухомих транспортних одиниць впливає на здоров'я людей. Тому необхідно проводити оцінку акустичного режиму та виконувати розробку заходів захисту від шуму на всіх стадіях проектування, будівництва, реконструкції і експлуатації автомобільних доріг та мостів. Кількісну оцінку акустичного режиму потрібно здійснювати на підставі даних інструментальних вимірювань для об'єктів, що експлуатуються, або за результатами акустичних розрахунків для об'єктів, що проектується.

Проблема та її актуальність. Проектування захисту від шуму потрібно виконувати на основі визначеного (за результатами акустичного розрахунку або інструментальних вимірювань) необхідного зниження рівнів шуму джерел до допустимих величин на території житлової забудови.

Одними із методами зниження шумового навантаження є застосування раціональних прийомів планування і організації вулично-дорожньої і транспортної мережі. При цьому потрібно забезпечувати максимально можливе зменшення зон акустичного дискомфорту з урахуванням щільності населення на даний час і на перспективу, розташування житлової забудови, дитячих дошкільних закладів, шкіл, закладів охорони здоров'я, будинків-інтернатів для людей похилого віку, рекреаційних і санаторно-курортних територій тощо в зонах, найбільш віддалених від постійних джерел акустичного забруднення, на відстанях, обґрунтованих акустичним розрахунком.

Також дієвими методами зниження шумового навантаження є застосування штучних шумозахисних екранів та шумозахисних властивостей елементів рельєфу місцевості (пагорби, яри, балки) та застосування шумозахисних смуг зелених насаджень.

Будівельні звукоізоляційні і звукопоглинальні матеріали, вироби і конструкції, які застосовуються у проектах, повинні відповідати вимогам чинних санітарно-гігієнічних і протипожежних норм та бути дозволені до використання органами виконавчої влади у сфері охорони здоров'я.

Проте слід зазначити, що у більшості випадків наведені вище заходи захисту прилеглих територій від шумового навантаження транспортних засобів, не завжди можливо реалізувати. Оскільки земельні ресурси у густонаселених районах є обмеженими. Крім цього житлові будівлі у більшості випадків вже побудовані, або будуються. Тому необхідно розробляти більш прогресивні методи захисту прилеглих територій від шумового навантаження транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із аналізу науково-дослідних робіт [2–9] встановлено, що шумовими характеристиками транспортних потоків і локальних внутрішньоквартальних джерел для автотранспортних потоків є еквівалентний $L_{\text{Аекв}}$ і максимальний $L_{\text{Амакс}}$, кориговані рівні звуку в дБА. Вони вимірюються на відстані 7,5 м від осі найближчої до краю смуги руху транспорту, з боку розрахункової точки. Нормованими параметрами постійного шуму є рівні звукового тиску L , дБ, в октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Оцінку постійного широкосмугового шуму допускається надавати у коригованих рівнях звуку L_A , дБА.

У праці [1] проведено дослідження впливу фізико-механічних параметрів матеріалів на шумопоглинаючі властивості шумозахисних екранів.

У роботі [3] встановлено, що на рівень шуму впливає геометрична конструкція протектора шин автомобільних транспортних засобів.

Дослідження впливу погодних умов на рівень звуку показали, що коливання звуку змінюється від 6 дБ до 10 дБ. Крім цього у праці [4] встановлено, що із підвищенням температури навколишнього середовища величина звуку підвищується.

У роботі [6] наведено дослідження впливу конструкцій дорожнього одягу на величину шумового навантаження. Гладке дорожнє покриття знижує рівень шумового навантаження [8]. При тонкому гладкому шарі бітуму знижується величина шуму на 4–5 дБА у порівнянні з рівнем шуму на дорогах із звичайним асфальтовим покриттям.

У роботі [7] піднімаються питання оптимальної форми шумозахисних екранів та її вплив на візуальне сприйняття учасниками дорожнього руху. Крім цього зазначається необхідність гармонізації форм і розмірів екранів із прилеглими житловими забудовами.

Проте слід зазначити, що при розробці конструкцій дорожнього одягу із зниженими параметрами шумового навантаження повинно проводитись із врахуванням забезпечення безпеки дорожнього руху.

При посадці смуг зелених насаджень, для зниження шумового навантаження від транспортних засобів, повинно бути забезпечене щільне примикання крон дерев між собою та заповнення простору між кронами чагарником. Звичайні смуги зелених насаджень із рідкою посадкою дерев і чагарників

при розрахунку рівнів звуку не враховуються. Для посадки треба використовувати районовані породи, які пристосовані до умов повітряного середовища в містах та інших населених пунктах.

Сучасною шумопоглинаючою конструкцією, є конструкція, що складається з металевого (сталевго) листа 1 та листового скла 2 (рис. 1). Для надання естетичного вигляду шумопоглинаючому сендвіч-екрану використовується плівка з малюнком 3.

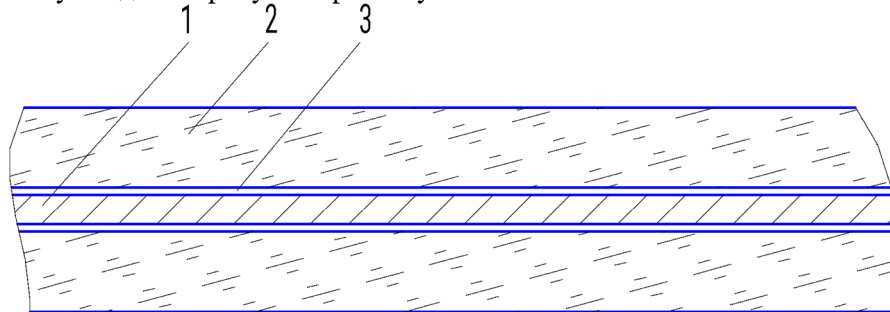


Рисунок 1 – Конструкція шумопоглинаючого сендвіч-екрана (поперечний переріз):
1 – сталевий лист; 2 – листове скло; 3 – плівка з малюнком

Figure 1 – Design of a noise-absorbing sandwich screen (cross-section):
1 – steel sheet; 2 – sheet glass; 3 – film with a pattern

Скло в даній конструкції знаходиться ззовні та захищає від негативних впливів довкілля: ультрафіолетового випромінювання, температурних перепадів, дощу, снігу тощо.

Високі акустичні властивості забезпечуються за рахунок унікальних акустичних властивостей скла. Скло поглинає звукову енергію у широкому діапазоні частот, і що особливо важливо – навіть в області низьких частот.

При цьому акустичні властивості не залежать від впливу довкілля: пилу, снігу, вологи. Вся конструкція екрану має високі звукоізоляційні властивості. Поєднання обох цих властивостей (звукопоглинаючі та звукоізоляційні) дає можливість цьому екрану ефективно захищати людей (перш за все мешканців житлових будинків) від транспортного шуму (перш за все автомобільного).

Отже, розробка архітектурно-ландшафтних рішень захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей є актуальною задачею наукових досліджень.

Метою досліджень є розробка архітектурно-ландшафтних рішень захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей, що дасть змогу зменшити вплив рухомих транспортних засобів на шумове навантаження прилеглих житлових територій.

Виклад основного матеріалу досліджень. Одним з найбільш ефективним способів захисту сельбищної території від транспортного шуму є будівництво будинків-екранів вздовж транспортних магістралей. На рис. 2 показано зниження рівня звуку за будинком-екраном (без врахування затухання звуку з відстанню). Цифри на кривих рівнів рівнів показують зниження рівня звуку (дБА) у порівнянні з рівнем на транспортній магістралі.

Якщо у якості екрану використовується житловий будинок, то необхідні спеціальні заходи по зменшенню шумового режиму у самому будинку (такі будинки іноді називають шумозахищеними). Будинки можуть мати таке планувальне рішення, при якому вікна всіх житлових приміщень квартири орієнтовані на дворовий фасад в сторону звукової тіні за будинком. Можливе і звичайне планувальне рішення з монтажем шумозахисних вікон при умові забезпечення нормативного повітрообміну.

Нарешті, можливе розміщення частини житлових кімнат квартири (спалень) зі сторони дворового фасаду, а загальні та інші приміщення можуть бути орієнтовані на транспортну магістраль.

За умовами захисту від шуму внутрішньоквартальної території висота будинків-екранів не повинна бути нижче 9 поверхів. У таких будинках доцільне розміщення підприємств торговельного і побутового призначення шляхом добудови їх зі сторони галерей і нежитлових приміщень квартир.

Для деякого зниження шуму у міській забудові можуть використовуватись зелені насадження. Якщо посадки щільнолистові, з кронами, що змикаються, висотою не менше 5–8 м і шириною не менше 10 м, зниження звуку може становити від 4 дБА до 12 дБА.

Для виявлення шумового режиму на території забудови в цілому і за окремими ділянками мікрорайонів часто використовують карти шуму, що являють собою криві рівних рівнів, нанесені на схему плану; вони характеризують зменшення рівня шуму при віддаленні від магістралі.

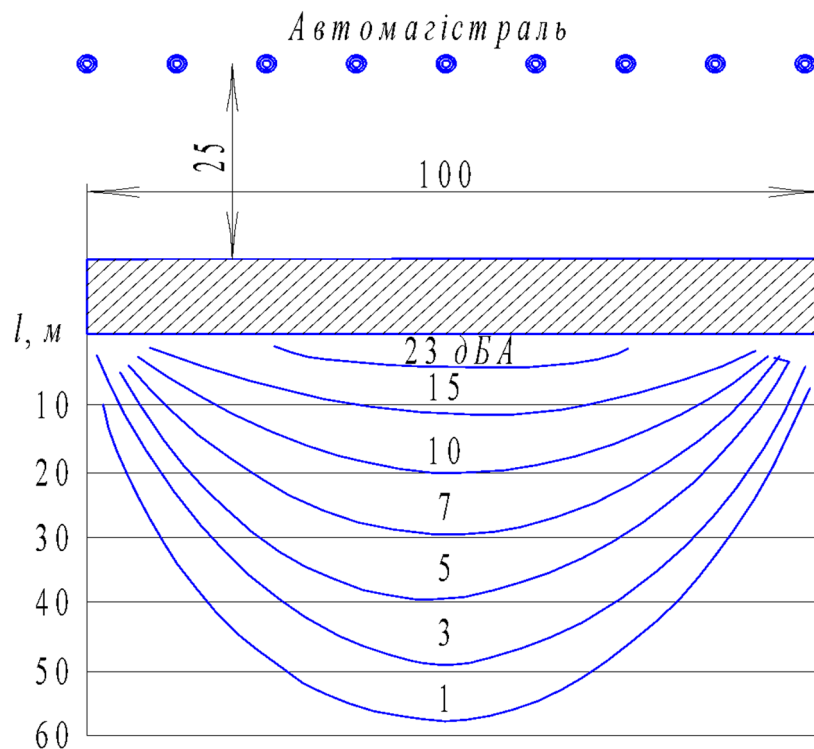


Рисунок 2 – Зниження рівня звуку за будинком-екраном

Figure 2 – Reducing the sound level behind the screen house

Такі карти отримані в результаті експериментальних досліджень в натурі та на моделях для більшості характерних планувальних схем. На рис. 3–4 дані карти шуму для рядкової, периметральної та групової забудови з екранами.

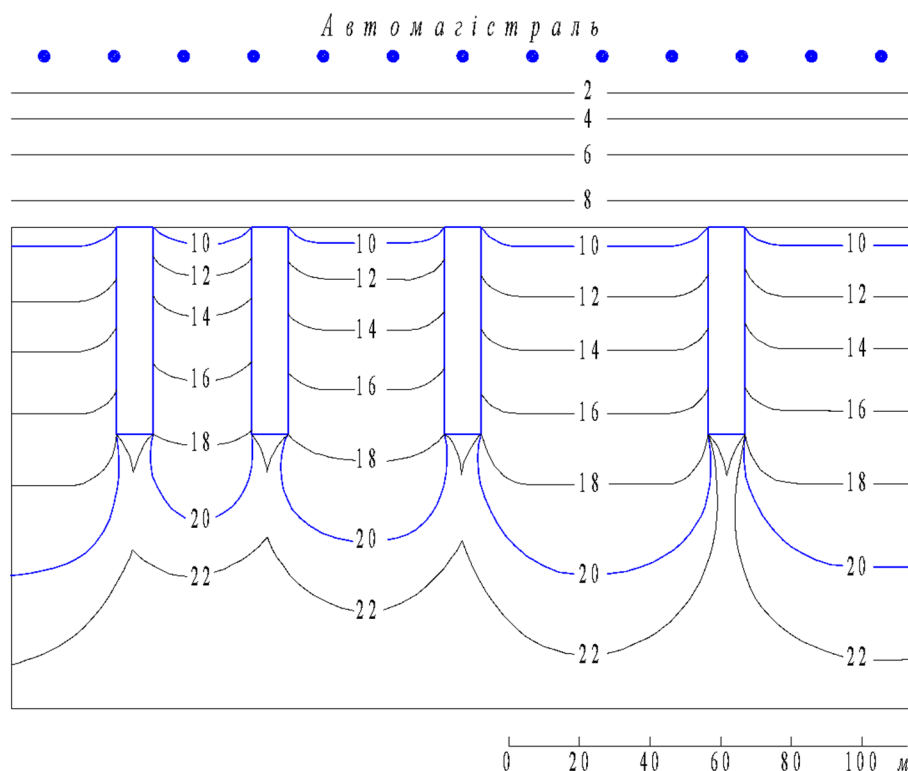


Рисунок 3 – Карти шуму при магістральній території для рядкової забудови

Figure 3 – Noise maps in the trunk area for row buildings

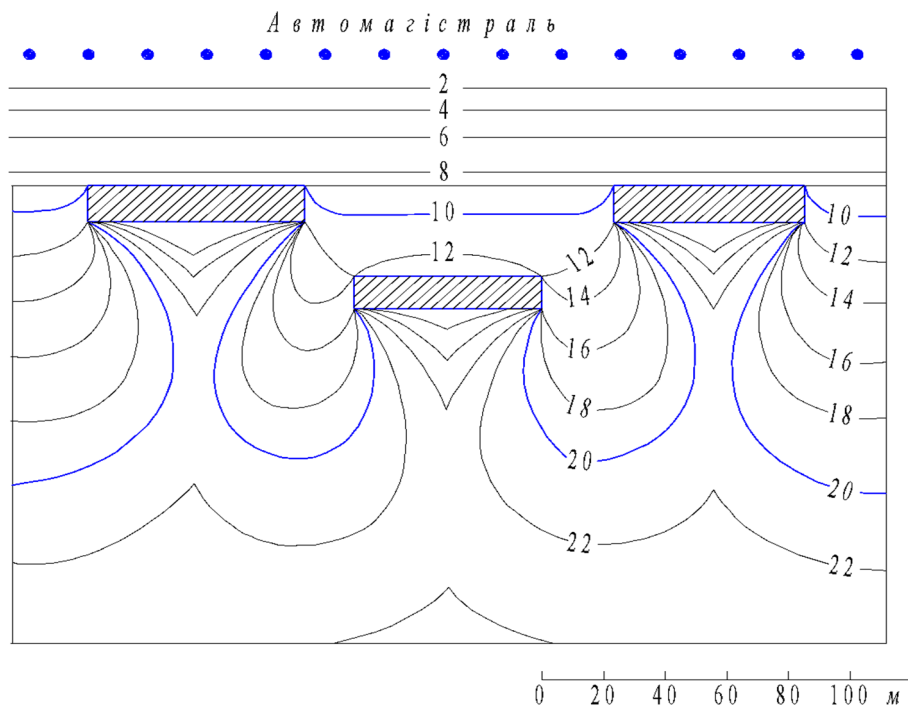


Рисунок 4 – Карта шуму приміагістральної території для периметральної забудови

Figure 4 – Noise map of the main road area for perimeter construction

Із рис. 3-4 видно, що із віддаленням від магістралей величина шумового навантаження на прилеглі житлові території знижується. Значне зниження шумового навантаження спостерігається за будинком.

Проте слід зазначити, що застосування архітектурно-планувальних методів із шумозахисту не є завжди ефективними методами захисту житлових територій від шумового навантаження. Оскільки є ділянки де будівлі вже збудовано, або будуються, не враховуючи шумність. Крім цього потрібно зазначити, що площі земельних ділянок в умовах міст є обмежені, що іноді не дозволяє виконати у повному обсязі архітектурно-ландшафтні рішення.

Висновки. Із проведених досліджень встановлено, що застосування архітектурно-планувальних методів із шумозахисту не є завжди ефективними методами захисту житлових територій від шумового навантаження. Оскільки є ділянки де будівлі вже збудовано, або будуються, не враховуючи шумність. Крім цього потрібно зазначити, що площі земельних ділянок в умовах міст є обмежені, що іноді не дозволяє виконати у повному обсязі архітектурно-ландшафтні рішення.

Найбільш ефективними способами захисту сільбищної території від транспортного шуму є будівництво будинків-екранів вздовж транспортних магістралей. Величина шуму за будинком зменшується до 23 дБА у порівнянні з рівнем на транспортній магістралі.

Перелік посилань

- [1] Summary of Noise Barriers Constructed By December 31, 2010. - Washington, DC: U.S. Department of Transportation, July 2012.
- [2] Ahmed A., Fahim M. A., & Seddeq H. S. (2010). Noise prediction for outdoor cooling systems; case study. Journal of American Science, 6(11), 899–905.
- [3] Fleming G., Gregg E., Rickley (1994). Performance Evaluation of Experimental Highway Noise Barriers. Report No. DOT-VNTSC-FHWA-94-16 and FHWA-RD-94-093. Cambridge MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center.
- [4] Fleming, Gregg G., Rickley E. (1990). Parallel Barrier Effectiveness: Dulles Noise Barrier Project. Report No. FHWA-RD-90-105 and DOT-TSC-FHWA-90-1. Cambridge MA: U.S. Department of Transportation, John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility.
- [5] Highway Noise Barriers: Performance, Maintenance and Safety (Video). Cambridge, MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center, 1996. - October.
- [6] Gordon C. G., Galloway W. J., Kugler B. A., Nelson D. L. (1971). *NCHRP Report 117: Highway Noise: A Design Guide for Highway Engineers*. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1971.
- [7] Highway Noise Barrier Design Handbook. Prepared by Gregg G. Fleming, Harvey S. Knauer, Cynthia S.Y. Lee, Soren Pedersen. 2000.
- [8] Banerjee D. Ambient Noise Level around an integrated Iron & Steel works, Bulletin of National Institute of Ecology, 2006. – 32(4). – pp.144–146.

ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE SOLUTIONS TO PROTECT THE TERRITORY FROM TRAFFIC NOISE ALONG TRANSPORT HIGHWAYS

Laslov Sergii V., Researcher Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures National Transport University M. Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, sl25051982@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6961-8613>

Abstract. Based on the review of research works, it was established that the noise load from moving transport units affects the health of people, which requires the development of effective design and planning solutions to reduce the noise load on residential areas.

It was established that the noise-absorbing structure consisting of a metal sheet and sheet glass has high acoustic properties. Because glass absorbs sound energy in a wide range of frequencies, and what is especially important – even in the low frequency range. At the same time, the acoustic properties do not

depend on the influence of the environment: dust, snow and moisture. The entire structure of the screen has high soundproofing properties. The combination of both these properties (sound-absorbing and sound-insulating) enables this screen to effectively protect residents of residential buildings from traffic noise.

It has been established that architectural and landscape solutions to protect areas from noise pollution from vehicles significantly reduce the noise level. A significant reduction in the noise load is observed behind the house. However, the use of architectural and planning methods for noise protection are not always effective methods of protecting residential areas from noise pollution. Since there are areas where buildings have already been built, or are being built, without taking into account noise. In addition, the area of land plots in urban conditions is limited, which sometimes prevents the full implementation of architectural and landscape solutions.

It has been established that the most effective ways to protect agricultural land from traffic noise are the construction of screen houses along transport highways. The amount of noise behind the house decreases to 23 dBA compared to the noise level on the transport highway.

Noise maps are used to identify the noise regime in the built-up area as a whole and in individual sections of microdistricts, which are curves of equal levels plotted on the plan diagram, they characterize the decrease in noise level when moving away from the highway.

Key words: noise load, noise-absorbing structures, highway, moving vehicles.

References

- [1] Summary of Noise Barriers Constructed By December 31, 2010. – Washington, DC: U.S. Department of Transportation, July 2012.
- [2] A. Ahmed, M. A. Fahim, & H. S. Seddeq. Noise prediction for outdoor cooling systems; case study. *Journal of American Science*, 6(11), 899–905.
- [3] G. Fleming, E. Gregg, Rickley. Performance Evaluation of Experimental Highway Noise Barriers. *Report No. DOT-VNTSC-FHWA-94-16 and FHWA-RD-94-093*. Cambridge MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center.
- [4] Fleming, G. Gregg, E. Rickley. Parallel Barrier Effectiveness: Dulles Noise Barrier Project. Report No. FHWA-RD-90-105 and DOT-TSC-FHWA-90-1. Cambridge MA: U.S. Department of Transportation, John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility.
- [5] Highway Noise Barriers: Performance, Maintenance and Safety (Video). Cambridge, MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center, 1996.
- [6] C. G. Gordon, W. J. Galloway, B. A. Kugler, D. L. Nelson. *NCHRP Report 117: Highway Noise: A Design Guide for Highway Engineers*. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1971.
- [7] Highway Noise Barrier Design Handbook. Prepared by Gregg G. Fleming, Harvey S. Knauer, Cynthia S.Y. Lee, Soren Pedersen. 2000.
- [8] D. Banerjee Ambient Noise Level around an integrated Iron & Steel works, *Bulletin of National Institute of Ecology*, 2006, 32(4), pp.144–146.

УДК 625.85
UDC 625.85

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-061-068

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНУ
ШЛЯХОМ АРМУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ
СИНТЕТИЧНИМИ ВОЛОКНАМИ**

**IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE BY
REINFORCING ASPHALT CONCRETE MIXTURES
SYNTHETIC FIBERS**



Левківська Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, к. 514, вул. Бойчука 42, Київ, Україна, 01103, e-mail: l_v_g@ukr.net, тел. +380975475724,

<https://orcid.org/0000-0002-5589-5257>



Елаллак Джафар Муса, аспірант, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, к. 113, вул. Бойчука 42, Київ, Україна, 01103, e-mail: jafarmoosa_77@ukr.net, тел. +380668917124,

<https://orcid.org/0000-0001-9045-7351>

Анотація. В даній статті показано, що однією з причин погіршення стану автомобільних доріг значною мірою є невідповідність експлуатаційних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів підвищеним транспортним навантаженням. Стрімке зростання числа великовантажних автомобілів на дорогах, збільшення інтенсивності руху і, як наслідок, збільшення осьових навантажень на дорожнє покриття, сприяє розвитку деформацій асфальтобетонних доріг створених на основі звичайних бітумів. У всьому світі постійно переглядаються нормативні вимоги до їх фізико-механічних властивостей та проводяться роботи по створенню нових сучасних дорожніх матеріалів і технологій. Все це спрямовано на підвищення довговічності дорожніх покриттів у сучасних умовах їх експлуатації.

Встановлено, що найбільш ефективним заходом підтримання транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів на достатньому рівні є застосування геосинтетичних матеріалів як армуючих прошарків. Армуючий матеріал, який застосовується при будівництві, реконструкції та ремонтах доріг, сприймає й перерозподіляє розтяжні зусилля і попереджає надлишкову горизонтальну деформацію подовження поблизу підосви шару при його згині, що виникають при багатократних короточасних впливах колісного навантаження від автотранспорту. Він повинен також сприймати і перерозподіляти розтяжні напрути та попереджувати надлишкову деформацію, які виникають у деяких перерізах від тривалого температурного впливу.

В статті викладені результати досліджень застосування геосинтетичних матеріалів для підвищення міцності, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів у дорожньому

будівництві. Наведена розгалужена класифікація та основні функції геосіток. Розглянуті різні варіанти їх розташування в конструкції дорожнього одягу. Окреслена актуальність використання геосинтетичних матеріалів з огляду на їх ефективність, різноманітність, багатофункціональність та широку область застосування.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, геосітки, асфальтобетонне покриття, зчеплення, тріщини.

Вступ. Однією із серйозних проблем вітчизняних доріг є утворення колійності. Воно викликане підвищенням інтенсивності руху та одночасним збільшенням динамічних навантажень у зв'язку зі зростанням швидкостей, збільшенням кількості автомобілів, низькою якістю дорожньо-будівельних матеріалів [1-4]. Крім того, інтенсивне та тривале сонячне світло особливо у літній період нагріває асфальтобетон і впливає на поведінку бітумного в'язучого. Розігрите покриття стає м'яким, і в результаті його повзучості після прикладання навантаження від транспорту виникає залишкова деформація.

На сьогоднішній день у дорожньому будівництві існує багато методів боротьби з колійністю, серед яких широко поширеним є армування (посилення) асфальтобетонних сумішей геосинтетичними матеріалами при будівництві та реконструкції дорожнього одягу [5]. З кожним роком сфера застосування геосинтетичних матеріалів розширюється, спираючись на великий позитивний досвід їх використання. Відоме армування асфальтобетонних сумішей сталевими фіброволокнами, органічними полімерними волокнами та дерев'яними волокнами.

Спостереження, проведені закордонними та нашими фахівцями з будівництва автомобільних доріг, показали, що хоча при застосуванні різних армуючих матеріалів (полімерних, сталевих ґрат, решіток зі скловолокна та ін.) утворення тріщин повністю не виключається, але початок тріщиноутворення значно відсувається, подовжуючи термін служби покриття у 2-3 рази [6-7].

Мета і методи. Метою статті є дослідження використання геосинтетичних армуючих прошарків в дорожньому будівництві.

Результати і пояснення. У сучасній світовій практиці дорожнього будівництва для забезпечення нормативних термінів служби асфальтобетонних покриттів застосовують конструктивні рішення та технології з використанням армуючих прошарків з геосинтетичних матеріалів у вигляді ниткопрошивних геосіток. Матеріалом для виробництва геосітки служать полієфіри та поліаміди, поліпропілен та скловолокно. Нитки полотен у вузлах переплетіння скріплюють за допомогою плавки, склеювання, прошивки або іншими способами.

Геосітка дорожня є найпопулярнішим матеріалом на будівельному ринку. Вона має високі міцнісні і низькі деформативні характеристики, хімічну та біологічну стійкість, термостійкість в діапазоні робочих температур укладання асфальтобетонної суміші (120-160°C), ідеально підходить для армування асфальтобетонних покриттів.

Основною метою застосування геосітки є зміцнення асфальтобетонних шарів за рахунок підвищення опору покриття розтягуючим температурним напругам і опору розтягування при вигині, зміни умов контакту в зоні тріщини, а внаслідок цього - збільшення терміну служби покриттів.

Геосітка армує асфальтобетон, перенаправляє вертикальні навантаження в горизонтальну площину, перерозподіляє горизонтальні напруги в шарі асфальтобетону і знижує активні місцеві напруги.

Область застосування геосіток [8]:

- армування асфальтобетонних покриттів при будівництві та реконструкції автомобільних доріг, злітно-посадкових смуг аеродромів, проїзної частини мостів;
- розширення проїжджої частини автомобільної дороги;
- відновлення покриття ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій;
- посилення робочого шва асфальтобетонного покриття;
- будівництво бетонних доріг з деформаційними швами.

Використання геосітки дає можливість:

- запобігти поширенню температурних, відображених і втомних тріщин;
- зменшити товщину асфальтобетонного покриття;

- запобігти виникненню зсувних деформацій покриття (колій і напливів);
 - збільшити робочу зону нижніх шарів покриття і основи завдяки своїй розподіляючій здатності, і продовжує, таким чином, термін служби дорожнього одягу;
- надати нові властивості дорожній конструкції.

Для капітального ремонту та реконструкції асфальтобетонного покриття використовують наступні геосітки:

1) геосітка зі скловолна, у порівнянні з аналогічними по міцності нетканими матеріалами, не просто розділяє прошарок, а одночасно його армує.

Геосітка характеризується наступними перевагами: подовження не більше 3%, відсутність повзучості матеріалу, за рахунок високої міцності і низької деформативності перешкоджає утворенню колій. Геосітка також має меншу товщину відносно типових геосіток за обсягом у 7-10 разів, за масою у 5-6 разів, завдяки чому вона набагато дешевша в транспортуванні і зручна в застосуванні.

2) геосітка з поліестеру представляє собою гнучку арматуру, виготовлену з високомодульних волокон поліестера, з'єднаних між собою спеціальним чином так, що утворюється сітка з великими чарунками. Вибір поліестера як сировини заснований на схожості його механічних характеристик і модуля пружності з навантажувальними характеристиками асфальтобетону.

Армуюча геосітка вкрита бітумом, який забезпечує добре зчеплення матеріалу з асфальтобетоном. Цей зв'язок покращує здатність сітки сприймати і перерозподіляти розтягуючі напруги.

Вибір відповідного типу армуючої геосітки ґрунтується на співвідношенні між розмірами чарунки і найбільшим діаметром часток заповнювача. Як правило, ширина чарунки повинна бути більше найбільших часток заповнювача в 2,0-2,5 рази, тому в більшості випадків використовується геосітка з шириною осередку 30 мм або 40 мм. Крім того, досвід експлуатації показує, що міцність на розтяг, що дорівнює 50 кНм в поздовжньому і поперечному напрямках.

3) геосітка пластикова одновісна - це плоска поліпропіленова сітка з витягнутими по довжині чарунками, орієнтованими в одному напрямку для створення високої міцності на розтяг.

Області застосування: зведення підпірних стін, земляних устоїв мостів, крутих відкосів, земляних дамб; зведення насипів на слабких ґрунтах; контроль ерозії ґрунтів земляного полотна; інженерна обробка місць для захоронення відходів.

Найбільш ефективні геосітки пластикові одновісні використовуються при будівництві та експлуатації об'єктів в місцях з несприятливими гідрогеологічними і обмеженими умовами.

4) геосітка пластикова двовісна - це плоска сітка з осередками прямокутної форми, виготовлена з поліпропілену методом екструзії. У процесі виробництва геосітка розтягується в двох напрямках завдяки орієнтуванню молекул, і охолоджується в напруженому стані з метою досягнення високих міцносних характеристик при низьких показниках повзучості.

Геосітка розроблена для будівництва автомобільної дороги на слабких ґрунтах, а також для підвищення ефективності конструкцій переносити високі динамічні і статичні навантаження.

Область застосування: стабілізація ґрунту, посилення автодорожніх і залізничних основ, будівництво майданчиків під високі навантаження (аеродроми, автостоянки, контейнерні майданчики та інші), посилення насипів на слабких основах, будівництво тимчасових доріг на слабких основах, армування бетону.

В залежності від виду ремонту пропонуються різні варіанти розташування геосіток в конструкції дорожнього одягу:

1. Ремонт ділянок доріг шляхом суцільного армування асфальтобетону без вирівнюючого шару (рис. 1). Укладання асфальтобетону при ремонті дорожніх покриттів виконується найчастіше армуванням площі. Геосітка укладається на старий шар асфальтобетонного покриття на рівних ділянках дороги, але з наявністю сітки тріщин покриття. Ефект консервації старих тріщин досягається за рахунок того, що сітка приймає на себе горизонтальні напруги та деформації, таким чином перешкоджаючи поширенню відображених тріщин від існуючих покриттів в нові укладені шари дорожнього покриття.

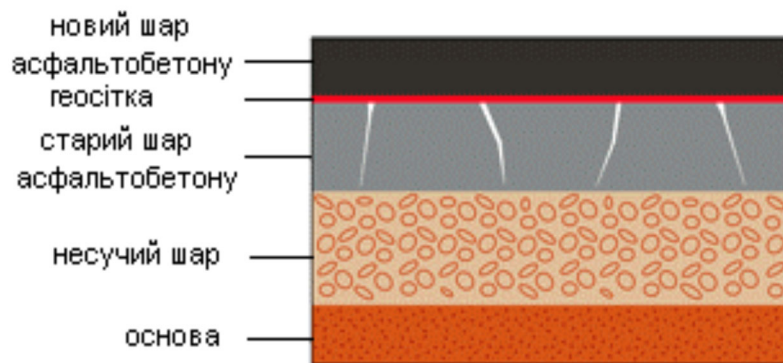


Рисунок 1 - Ремонт ділянок доріг шляхом суцільного армування асфальтобетону без вирівнюючого шару

Figure 1 - Repair of road sections by continuous reinforcement of asphalt concrete without leveling layer

2. Посилення існуючої конструкції дорожнього одягу (рис. 2).

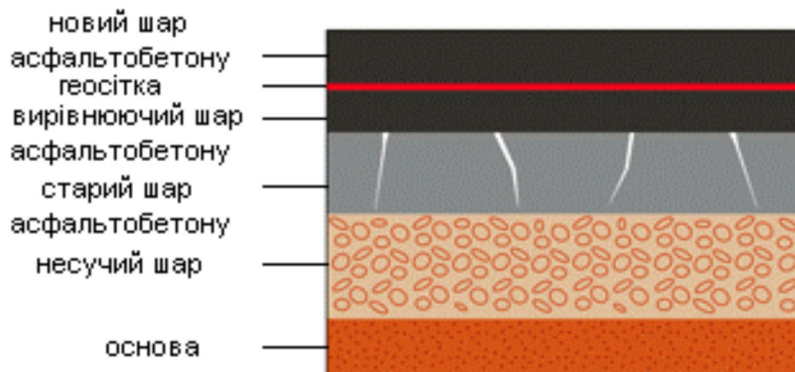


Рисунок 2 - Посилення існуючої конструкції дорожнього одягу

Figure 2 - Strengthening of the existing construction of road clothing

На ділянках доріг, що мають колії й вибоїни, укладання геосітки здійснюється на вирівнюючий шар асфальтобетону. Попередньо очищується поверхня старого покриття, потім укладається вирівнюючий шар асфальтобетону, геосітка і новий шар асфальтобетонного покриття.

Ефект усунення або значного зменшення колійності і вибоїн досягається за рахунок того, що геосітка перерозподіляє вертикальні локальні навантаження на більшу площу поверхні.

3. Армування асфальтобетону, покладеного на бетонне покриття (рис. 3).

При посиленні шаром асфальтобетону бетонних покриттів автомобільних доріг і злітно-посадкових смуг аеродромів рекомендується укласти вирівнюючий шар асфальтобетону та геосітку. Необхідність застосування даної технології пояснюється тим фактом, що при сполученні дорожнього одягу з цементобетону і шару асфальтобетону в останньому з'являються тріщини через різницю коефіцієнтів температурного розширення бетону і асфальтобетону. З цієї причини над цементобетонним покриттям необхідно улаштування вирівнюючого шару асфальтобетону.

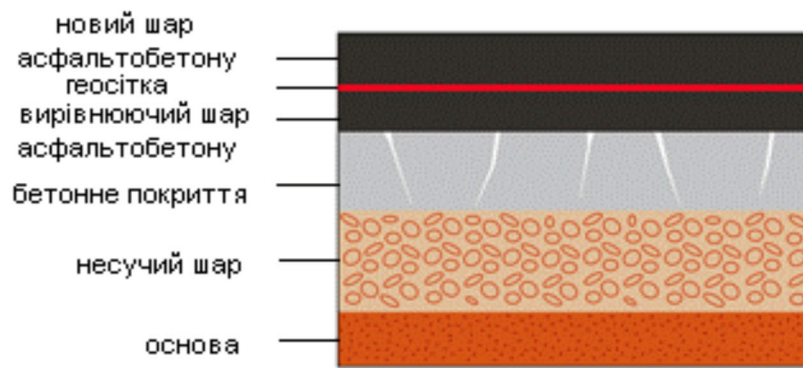


Рисунок 3 - Армування асфальтобетону, покладеного на бетонне покриття
Figure 3 - Reinforcement of asphalt concrete laid on a concrete surface

При посиленні шаром асфальтобетону бетонних покриттів автомобільних доріг і злітно-посадкових смуг аеродромів рекомендується укласти вирівнюючий шар асфальтобетону та геосітку. Необхідність застосування даної технології пояснюється тим фактом, що при сполученні дорожнього одягу з цементнобетону і шару асфальтобетону в останньому з'являються тріщини через різницю коефіцієнтів температурного розширення бетону і асфальтобетону. З цієї причини над цементнобетонним покриттям необхідно улаштування вирівнюючого шару асфальтобетону.

4. Армування асфальтобетонного покриття в зоні стику (рис. 4).

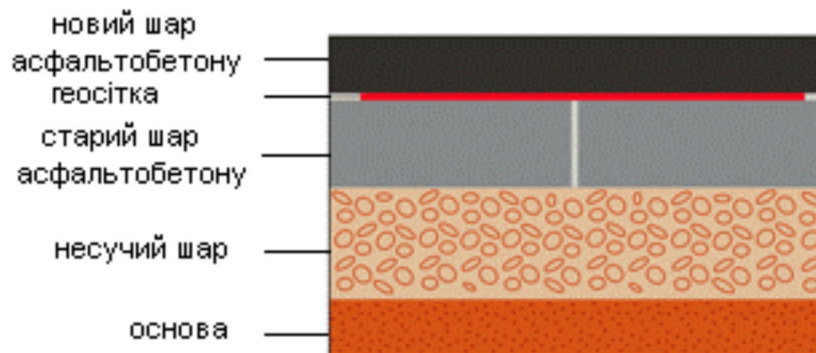


Рисунок 4 - Армування асфальтобетонного покриття в зоні стику
Figure 4 - Reinforcement of asphalt concrete pavement in the joint zone

Відкриті ділянки на старих покриттях, що мають руйнування (тріщини) є зонами з підвищеним ризиком виникнення тріщин у верхньому та знову укладеному шарі. В даному випадку рекомендується проводити армування цих зон геосіткою.

5. Армування асфальтобетону при розширенні дорожнього полотна (рис. 5).

Розширення дорожнього полотна зазвичай виконується без армування, в результаті чого в місцях сполучення старих і нових ділянок виникають поздовжні тріщини. Укладання геосітки на ці ділянки сприяє армуванню зони поздовжнього стику та попередженню тріщин.

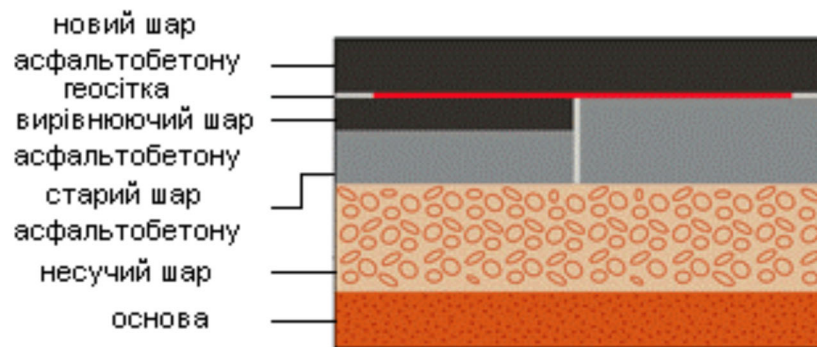


Рисунок 5 - Армування асфальтобетону при розширенні дорожнього полотна
Figure 5 - Reinforcement of asphalt concrete when widening the road surface

Розширення дорожнього полотна зазвичай виконується без армування, в результаті чого в місцях сполучення старих і нових ділянок виникають поздовжні тріщини. Укладання геосітки на ці ділянки сприяє армуванню зони поздовжнього стику та попередженню тріщин.

6. Посилення ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій (рис. 6).

Тріщини і вибоїни часто виникають в асфальтобетонних покриттях на ділянках доріг, що проходять над інженерними комунікаціями, а також після проведення ремонтних робіт з розкриттям дорожнього полотна. Армування геосітками усуває або істотно сповільнює виникнення тріщин і руйнування таких ділянок доріг.

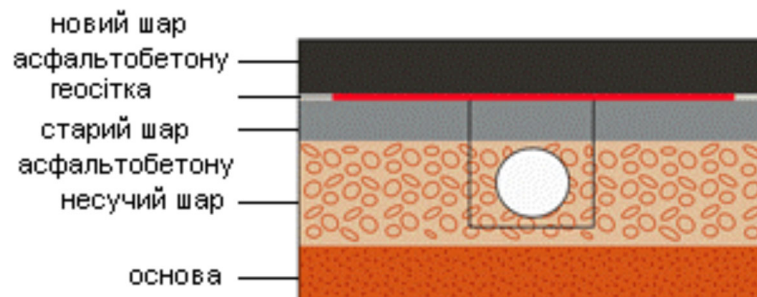


Рисунок 6 - Посилення ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій
Figure 6 - Strengthening of the road section after the repair of underground communications

Висновки та рекомендації. Таким чином, наявність асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з характерними деформаціями (тріщинами та колійністю) потребує впровадження нових елементів (геосіток) в конструкції дорожнього одягу при проведенні ремонтних робіт, що дозволяють підвищити міцність та надійність дорожнього покриття з мінімальними витратами.

Встановлено, що армуючі синтетичні прошарки влаштовані в асфальтобетонних шарах впливають на загальний напружений стан дорожнього одягу нежорсткого типу:

- армуючий прошарок дозволяє перерозподілити навантаження від транспорту на більшу площу, збільшити несучу здатність дорожнього покриття, попередити появу тріщин від втоми, колійності, смуг накату, хвиль та напливів;
- армуючий матеріал приймає на себе частину розтягуючих напружень, які для асфальтобетону, в силу його фізико-механічних властивостей, найбільш небезпечні, не дозволяючи з'являтися температурним тріщинам.

Армування асфальтобетонного дорожнього покриття дозволяє збільшити строк служби покриттів автомобільних доріг втричі за рахунок скорочення термічного розтріскування і розтріскування від утомленості, відображених тріщин та осідання. Витрати на ремонтні заходи й експлуатаційне утримання в армованого покриття нижчі, ніж у неармованого, завдяки збільшенню строку експлуатації та розширенню інтервалів між відновлювальними роботами.

Перелік посилань

1. Левківська Л.В., Горбунович І.В., Елаллак Д.М. Аналіз факторів впливу на утворення тріщин в асфальтобетонних дорожніх покриттях. «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» Том 30 (69) Ч.2 № 6, 2019. С. 189 – 194.
2. Левківська Л.В., Елаллак Д.М. Аналіз факторів впливу на міцність зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. Вип. 109. 2021. С. 26 – 32.
3. Левківська Л.В., Гринчак І.І., Елаллак Д.М. Аналіз існуючих методів оцінки якості зчеплення між шарами дорожнього одягу. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. Київ. 2022. Вип. 1 (51). С. 267 – 274.
4. Левківська Л.В. Проблеми розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури України. Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку: матеріали XXIX Міжнародної науково-практичної конференції / за ред. І.В. Жукова, Є.О. Романенка. Теплице (Чехія): ГО «ВАДНД», 07 лютого 2023 р. С. 371-375.
5. Савенко В.Я., Петрович В.В., Касків В.І., Усиченко О.Ю. Синтетичні матеріали – перспектива використання в дорожніх конструкціях Автомобільні. дороги і дорожнє будівництво. 1999. Вип. 57. С. 143 – 153.
6. Гамеляк І.П., Кострицький В.В., Артеменко Л.Ф. Проблеми використання геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві та шляхи їх вирішення. Вісник КНУДТ. 2009. Вип. 6. С. 17 – 27.
7. Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу. Автошляховик України. 2012. № 5. С. 25 – 30.
8. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. К.: Укравтодор, 2008. 126 с.

IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE BY REINFORCING ASPHALT CONCRETE MIXTURES SYNTHETIC FIBERS

Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Ph.D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: l_v_g@ukr.net, +380975475724, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str., 42, of. 514, <https://orcid.org/0000-0002-5589-5257>

Elallak Jafar Musa, Postgraduate student of the National Transport University, Department of Road Construction Materials and Chemistry, e-mail: jafarmoosa_77@ukr.net, +380668917124, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str., 42. <https://orcid.org/0000-0001-9045-7351>

Summary: This article shows that one of the reasons for the deterioration of the condition of highways is largely the mismatch of the operational characteristics of road construction materials with increased traffic loads. The rapid increase in the number of heavy trucks on the roads, the increase in traffic intensity and, as a result, the increase in axial loads on the road surface, contributes to the development of deformations of asphalt concrete roads created on the basis of ordinary bitumen. All over the world, regulatory requirements for their physical and mechanical properties are constantly revised and work is being done to create new modern road materials and technologies. All this is aimed at increasing the durability of road surfaces in modern conditions of their operation.

It has been established that the most effective measure for maintaining the transport and operational performance of road surfaces at a sufficient level is the use of geosynthetic materials as reinforcing layers. The reinforcing material, which is used in the construction, reconstruction and repair of roads, perceives and redistributes tensile forces and prevents excessive horizontal deformation of the elongation near the sole of the layer during its bending, which occurs during multiple short-term effects of wheel loads from motor vehicles. It must also perceive and redistribute tensile stresses and prevent excessive deformation that occurs in some cross-sections from prolonged temperature exposure.

The article presents the results of research on the use of geosynthetic materials to increase the strength, shear resistance and crack resistance of asphalt concrete coatings in road construction. A broad classification and main functions of geogrids are presented. Different variants of their location in the construction of road clothing are considered. The relevance of the use of geosynthetic materials is outlined, given their effectiveness, diversity, multifunctionality and wide scope of application.

Key words: geosynthetic materials, geogrids, asphalt concrete coating, adhesion, cracks.

References

1. Levkivska L.V., Horbunovych I.V., Elallak D.M. Analiz faktoriv vplyvu na utvorennia trishchyn v asfal'tobetonnykh dorozhnikh pokryttyakh. «Vcheni zapysky Tavriyskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky» Tom 30 (69) CH.2 № 6, 2019. S. 189 – 194.
2. Levkivska L.V., Elallak D.M. Analiz faktoriv vplyvu na mitsnist' zcheplennya mizh asfal'tobetonnyimi sharamy dorozhn'oho odyahu. Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vyp. 109. 2021. S. 26 – 32.
3. Levkivska L.V., Hrynychak I.I., Elallak D.M. Analiz isnuyuchykh metodiv otsinky yakosti zcheplennya mizh sharamy dorozhn'oho odyahu. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zhurnal. Kyiv. 2022. Vyp. 1 (51). S. 267 – 274.
4. Levkivska L.V. Problemy rozvytku dorozhno-transportnoyi infrastruktury Ukrainy. Suchasni aspekty modernizatsiyi nauky: stan, problemy, tendentsiyi rozvytku: materialy XXIX Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi / za red. I.V. Zhukova, YE.O. Romanenka. Teplitse (Chexiya): HO «VADND», 07 lyutoho 2023 r. S. 371 – 375.
5. Savenko V.YA., Petrovych V.V., Kaskiv V.I., Usychenko O.YU. Syntetychni materialy – perspektyva vykorystannya v dorozhnikh konstruktsiyakh Avtomobil'ni. dorohy i dorozhnye budivnytstvo. 1999. Vyp. 57. S. 143 – 153.
6. Hamelyak I.P., Kostytskiy V.V., Artemenko L.F. Problemy vykorystannya heosyntetychnykh materialiv u dorozhn'omu budivnytstvi ta shlyakhy yikh vyrishennya. Visnyk KNUDT. 2009. Vyp. 6. S. 17 – 27.
7. Mozhovyy V. V., Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Aksonov S. YU. Suchasni aspekty pidvyshchennya kolyestiykosti nezhorstkoho dorozhn'oho odyahu. Avtoshlyakhovyk Ukrainy. 2012. № 5. S. 25 – 30.
8. Sporudy transportu. Materialy heosyntetychni v dorozhnomu budivnytstvi: VBN V.2.3-218-544:2008. K.: Ukravtodor, 2008. 126 s.

УДК 539.3
UDC 539.3

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-069-082

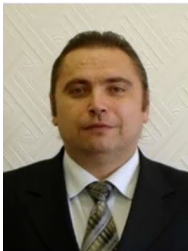
**ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО РІВНЯ ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В
АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ ЯКЕ ВЛАШТОВАНЕ НА БЕТОННІЙ ОСНОВІ
АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ**

**PREDICTION OF THE MAXIMUM LEVEL OF TANGENT STRESSES IN THE ASPHALT
CONCRETE SURFACE LAYING ON THE CONCRETE BASE OF A MOTOR ROAD**



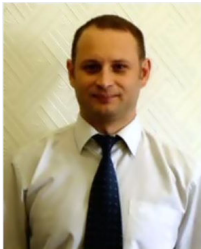
Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд. Київ, Україна, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



Соловійов Ігор Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики. Київ, Україна, e-mail: i.soloviov@ntu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5203-4139>



Худолій Сергій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики. Київ, Україна, e-mail: s_hoodoliy@i.ua

<https://orcid.org/0000-0001-6054-6708>



Федоренко Олег Володимирович, Начальник управління експлуатації доріг Укравтодору, Київ, Україна e-mail: 50281@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0003-4288-5508>

Анотація. У даній статті для оцінки рівня дотичних напружень в асфальтобетонному покритті яке влаштовано на бетонній основі було проведено моделювання методом скінчених елементів різних конструкцій дорожнього одягу які відрізняються різними значеннями товщини шару асфальту та його модулем пружності. Товщина шару варіювалась в межах від 5 см до 30 см з кроком в 5 см. Модуль пружності асфальту від 3000 МПа до 9000 МПа. Крім того для різних варіантів конструкцій

варіювалось положення транспортного навантаження по відношенню до деформаційного шва між плитами бетонної основи. Розрахунки методом скінчених елементів показали що τ_{xz} в даному випадку найбільша дотична складова тензору напружень. Серед різних положень навантаження обирався варіант при якому дотичні напруження τ_{xz} в асфальті приймали максимальне за модулем значення. За отриманими таким чином значеннями максимальних дотичних напружень в асфальті побудовано графік поверхні функції $\tau_{\max}$ що залежить від двох змінних h та E . З вигляду цієї поверхні видно що $\tau_{\max}$ зростають зі зменшенням товщини асфальтного покриття та майже лінійно залежать від модуля пружності. Для цієї поверхні запропоновано апроксимуючу функцію за допомогою якої можна наближено оцінити рівень максимальних дотичних напружень в асфальтному шарі над деформаційним швом для конструкцій які мають проміжні значення h (см) та E (МПа).

За графіком рівнів цієї поверхні можна підібрати параметри конструкції дорожнього одягу так щоб в ній рівень максимальних дотичних напружень був нижче допустимого.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонне покриття, транспортні навантаження, поле напружень, напружено-деформований стан.

Вступ. Незважаючи на широке застосування асфальтобетонних покриттів на жорсткій блочній основі автомобільних доріг і великий накопичений досвід підвищення їх якості, руйнування у вигляді поперечних тріщин в зоні стику блоків все ще залишається найпоширенішим при різному впливі транспортних навантажень і температур. Поява тріщин є джерелом подальшого руйнування як самого асфальтобетонного покриття так і всього дорожнього одягу.

Забезпечення тріщиностійкості асфальтобетонного покриття є важливою задачею при будівництві автомобільних доріг. Особливу актуальність це питання набуває у зв'язку із збільшеною потребою в реконструкції або ремонті існуючого старого покриття, що вже має поперечні тріщини на блочній цементобетонній основі дорожнього одягу. В такому випадку швидко з'являються копіюючі дотичні зрізаючі тріщини в асфальтобетонному покритті над існуючими цементобетонними блочними швами дорожнього одягу.

Традиційні рішення покращують якість асфальтобетонної суміші за рахунок поліпшення підбору інгредієнтів, введення різноманітних модифікуючих домішок, удосконалення процесу приготування тощо, але не можуть повністю вирішити проблему підвищення тріщиностійкості асфальтобетонного покриття на жорсткій основі автомобільних доріг для забезпечення їх необхідної довговічності.

Наукові дослідження та практичний досвід останніх років показали, що довговічність асфальтобетону можна підвищити шляхом макроскопічного армування його синтетичними сітками. Це забезпечує підвищення його міцності на розтяг і покращує здатність сприймати розтягуючі і зрізаючі напруження. Завдяки цьому збільшується опір асфальтобетонного покриття на блочній жорсткій основі розтягуючим і зрізаючим напруженням, що сприяє підвищенню його тріщиностійкості. Механізм роботи армуючих сіток в асфальтобетонному покритті пояснюють наступною схемою – з появою розтягуючих та зрізаючих напружень в асфальтобетоні їх починає сприймати, включаючись у роботу, армуюча сітка. Армуюча сітка в асфальтобетонному покритті на блочній жорсткій основі підвищує опір розтягуючим і зрізаючим зусиллям при дії навантаження транспортного засобу і сприяє підвищенню довговічності.

Однак до цього часу відсутній науково обґрунтований метод розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на жорсткій основі автомобільної дороги, що не дозволяє цілеспрямовано та ефективно регулювати тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на жорсткому дорожньому одязі від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів.

Тому актуальність даної роботи зумовлена необхідністю вирішення важливої проблеми – підвищення тріщиностійкості від дотичних зрізаючих напружень в асфальтобетонному покритті, що влаштоване на блочній жорсткій основі дорожнього одягу автомобільної дороги.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонне покриття на блочній основі жорсткого дорожнього одягу.

Предмет дослідження – тріщиностійкість від дотичних зрізаючих напружень в асфальтобетонному покритті від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів.

Літературний аналіз. В Україні досвід застосування асфальтобетонного покриття на блочній цементобетонній основі не значний. Вже більше 30 років на зарубіжних автомагістралях широко використовуються армуючі матеріали. Літературні дані свідчать, що тільки в штаті Нью-Йорк (США) використання армуючих матеріалів у дорожніх конструкціях економить приблизно 4 мільйони доларів на рік. Бельгійські дослідження (Rido J. M.) також показали, що введення армуючих матеріалів між шарами асфальтобетону значно зменшує розтягуючі та дотичні напруження, що виникають в асфальтобетоні, і запобігає поширенню тріщин від нижнього шару покриття до верхнього. В італійських дослідженнях виявлено доцільність полімерного армування асфальтобетонного покриття за наявності тріщин в основі. У Данії було запропоновано створювати шар зносу з армованого асфальтобетону під час реставрації асфальтобетонного покриття автомобільних доріг. Компанія «Тоє спан бонді» (Японія) розробила армуючий матеріал для укладання під асфальтобетонні покриття на тріщинисті основи, завдяки чому зменшується деформація асфальтобетону. У м. Ясси (Румунія) було проведено дослідження щодо армування асфальтобетону поліамідною сіткою для підвищення його міцності на розрив.

Завдяки дослідженням цих учених встановлено, що тріщини виникають від діючих в матеріалі розтягуючих та дотичних напружень, обумовлених дією навантаження транспортних засобів та температури. Ці напруження сприяють розриву зв'язків в асфальтобетоні аж до утворення макротріщин.

Аналіз робіт [1-9], присвячених вивченню тріщиностійкості дорожнього одягу, показав, що за різних навантажень транспортних засобів на утворення поверхневих тріщин більш суттєвий вплив мають: розтягування та зрізання матеріалу покриття над швами або тріщинами тріщинувато-блочної основи; нерівномірні температурні зміни розмірів складових компонентів асфальтобетону через різницю їх термомеханічних властивостей.

Це вказує на необхідність розробки способу забезпечення стійкості до розтріскування асфальтобетонного покриття дорожнього одягу на жорсткій блочній основі від напружень зсуву і на основі цього підвищення довговічності всієї конструкції дорожнього одягу.

Виклад основного тексту. Для оцінки рівня дотичних напружень в асфальтобетонному покритті яке влаштовано на бетонній основі було проведено моделювання методом скінчених елементів різних конструкцій дорожнього одягу які відрізняються різними значеннями товщини шару асфальту та його модулем пружності. Товщина шару варіювалась в межах від 5 см до 30 см з кроком в 5 см. Модуль пружності асфальту від 3000 МПа до 9000 МПа.

Було розглянуто чотиришарову конструкцію жорсткого дорожнього одягу, що складається з асфальтного покриття, цементобетонних плит, шару піску, які влаштовані на ґрунтовій основі. Види матеріалів фрагментів конструкції, їхні товщини h_1, h_2, h_3, h_4 і значення механічних параметрів наведені у таблиці 1. В ній позначено: E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; ρ – густина.

Таблиця 1 – Механічні властивості та товщини шарів конструкції жорсткого дорожнього одягу
Table 1 – Mechanical properties and thicknesses of the layers of the construction of hard road clothing

Номер i шару	Матеріал	h_i (м)	E_i (Па)	ρ кг/м ³	Коефіцієнт Пуассона ν
1	Асфальтобетон пористий на основі бітуму модифікованого полімером	0,05 -0,3	$3,0 \cdot 10^9$ - $9,0 \cdot 10^9$	2390	0,23
2	Цементобетон класу В25 ПЗ F200 W6	0,2	$3,5 \cdot 10^{10}$	2800	0,18
3	Пісок	0,2	$0,1 \cdot 10^9$	2050	0,3
4	Ґрунт	2,5	$0,1 \cdot 10^9$	1960	0,35

Розмір плит вздовж напрямку руху транспорту складає $L = 5$ м та в поперечному напрямку 3 м. Між плитами влаштовані шви розширення, шви стиснення та повздовжні шви. Прийmemo припущення, що шви влаштовані на всю товщину плити та не укріплені штирями. Товщина деформаційного шва прийнята 3 см.

Крім того для різних варіантів конструкцій варіювалось положення транспортного навантаження по відношенню до деформаційного шва між плитами бетонної основи. Розташування транспортного навантаження відносно деформаційного шва має 18 положень (Рис. 1.)

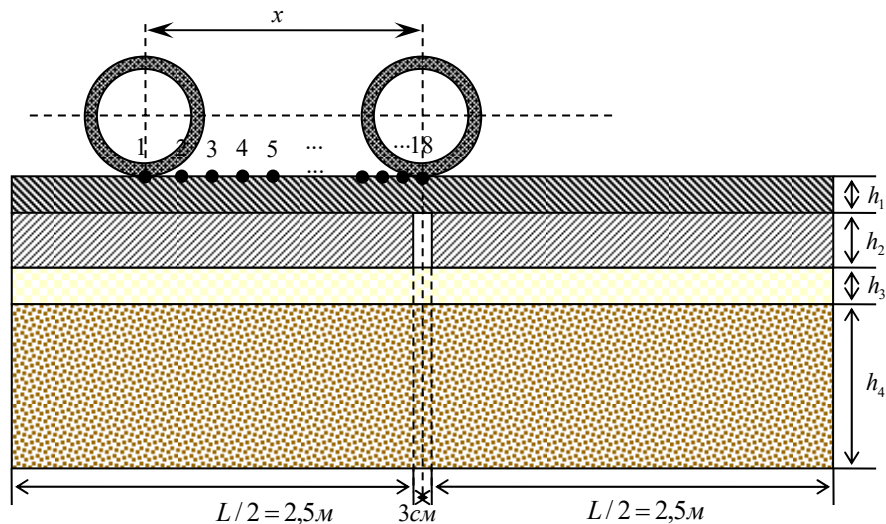


Рисунок 1 – Розрахункова схема виникнення розтягуючих (σ) та зрізаючих (дотичних) (τ) напружень в асфальтобетонному покритті, яке влаштоване на цементобетонній основі дорожнього одягу від прокочування пневматичного колеса транспортного засобу для різних варіантів навантаження (1, 2, 3, ..., 18) які відрізняються положенням центру колеса по відношенню до центру шва x .

Figure 1 – Calculation diagram of the occurrence of tensile (σ) and shear (tangential) (τ) stresses in the asphalt concrete coating, which is arranged on a cement concrete base of the road surface from the rolling of the pneumatic wheel of the vehicle for different load options (1, 2, 3, ..., 18) which differ in the position of the center of the wheel in relation to the center of the seam x .

Розглянемо скінчено-елементну модель даної конструкції (Рис. 2.). Осі Ox та Oy розташовані в горизонтальній площині (верхня грань асфальтобетонного покриття), Ox направлена в напрямку руху транспортного навантаження, початок координат знаходиться в центрі шва, вісь Oz направлена вертикально вниз.

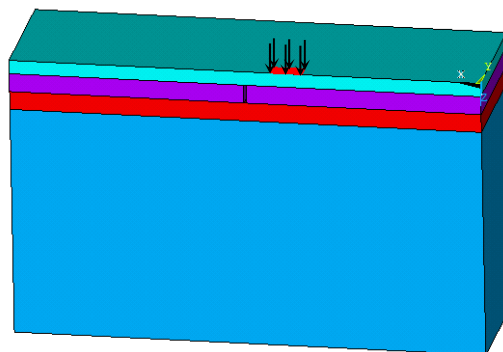


Рисунок 2 – Модель половини виділеного фрагменту конструкції.
Figure 2 – Model of half of the selected fragment of the structure.

Розрахунки методом скінчених елементів показали що τ_{xz} в даному випадку найбільша дотична складова тензору напружень. Серед різних положень навантаження обирався варіант при якому дотичні напруження τ_{xz} в асфальті приймали максимальне за модулем значення (положення 8-12 для різних конструкцій). Отримані таким чином значення максимальних дотичних напружень в асфальті представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення максимальних дотичних напружень в асфальті, МПа для різних варіантів конструкцій дорожнього одягу.

Table 2 – The value of the maximum tangential stresses in asphalt, MPa, for various options of road wear structures.

Максимальні дотичні напруження, МПа		Модуль пружності асфальту E , МПа			
		3000	5300	7000	9000
Товщина асфальтного шару h , см	5	2,03	2,2	2,25	2,26
	10	1,27	1,29	1,27	1,32
	15	0,94	0,93	0,92	0,97
	20	0,77	0,75	0,78	0,81
	25	0,6	0,61	0,63	0,65
	30	0,47	0,5	0,51	0,52

За даними таблиці 2 побудовано графік поверхні функції $\tau_{\max}$ що залежить від двох змінних h та E , який представлено на рис. 3. З вигляду цієї поверхні видно що $\tau_{\max}$ зростають зі зменшенням товщини h асфальтного покриття та майже лінійно залежать від модуля пружності E .

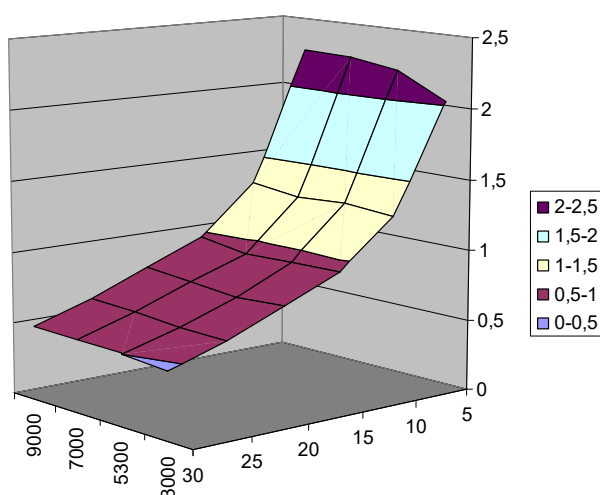


Рисунок 3 – Максимальні значення дотичних напружень в асфальті (МПа) як функція двох змінних h (см) та E (МПа).

Figure 3 – Maximum values of tangential stresses in asphalt (MPa) as a function of two variables h (cm) and E (MPa).

На рис. 4 представлені рівні максимальних значень дотичних напружень в асфальті над деформаційним швом (МПа) в залежності від змінних h (см) та E (МПа). За цим графіком можна підібрати параметри конструкції дорожнього одягу так щоб в ній рівень максимальних дотичних напружень був нижче допустимого.

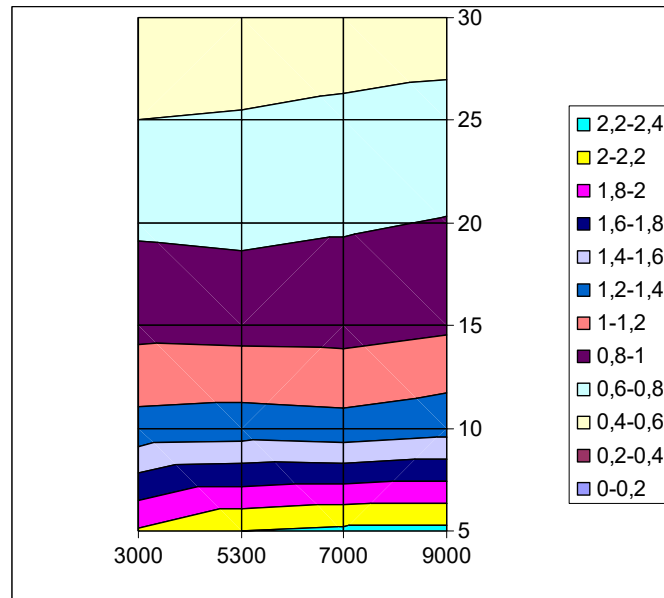


Рисунок 4 – Рівні максимальних значень дотичних напружень в асфальті (МПа) в залежності від змінних h (см) та E (МПа).

Figure 4 – Levels of maximum values of tangential stresses in asphalt (MPa) depending on the variables h (cm) and E (MPa).

Для поверхні зображеної на рис. 3 запропоновано апроксимуючу функцію за допомогою якої можна наближено оцінити рівень максимальних дотичних напружень в асфальтному шарі над деформаційним швом для конструкцій які мають проміжні значення товщини шару h та модуля пружності E .

$$\tau_{\max} = \frac{(-a \cdot h + b) \cdot E}{c} + 7.15 \cdot h^{-a} \quad (1)$$

де h – товщина покриття; E – модуль пружності асфальтобетонного покриття; a , b , c – експериментальні параметри ($a = 0,76$; $b = 23,8$; $c = 1000000$).

На рис. 5 суцільними лініями зображено значення $\tau_{\max}$ обчислені за допомогою апроксимуючої функції, точками наведено результати чисельного моделювання

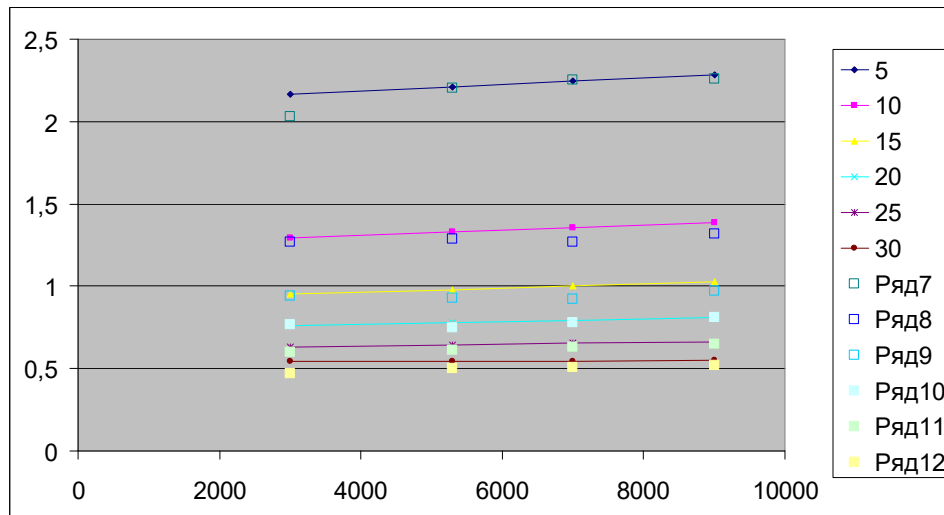


Рисунок 5 – Максимальні значення дотичних напружень в асфальті (МПа) для різних товщин h (см) в залежності від E (МПа).

Figure 5 – Maximum values of tangential stresses in asphalt (MPa) for different thicknesses h (cm) depending on E (MPa).

Таким чином, отримано залежність (1) для визначення максимальних дотичних зрізаючих напружень в асфальтобетонному покритті на блочній цементобетонній основі, в умовах, коли матеріал асфальтобетонного покриття володіє пружними властивостями і його напружено-деформований стан можна описати законом Гука. У зв'язку з тим, що асфальтобетонне покриття володіє в'язкопружними властивостями, тобто його реологічні властивості залежать від температури та часу дії навантаження. Базуючись даними [4-8 та ін.], можна скористатися інтегральними рівняннями лінійної в'язкопружності. У даному випадку рівняння (1) можна переписати з урахуванням в'язкопружних властивостей покриття при визначенні дотичних максимальних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів за наступним рівнянням:

$$\tau_{\max}(t) = \frac{(-a \cdot h + b) \cdot R(t)}{c} + 7.15 \cdot h^{-a} \quad (2)$$

де $R(t)$ – функція релаксації асфальтобетонного покриття;

t – час, який передувє моменту спостереження

При вирішенні рівняння (2), за результатами дослідників [4-8], можна використовувати функції релаксації у вигляді модифікованого степеневому закону, який дає достатньо точні результати обчислень:

$$R(t) = E_{\partial z} + (E_{\text{mm}} - E_{\partial z}) \cdot \left(1 + \frac{t}{\eta}\right)^{-\lambda}, \quad (3)$$

де λ і η – постійні, що визначаються в результаті експерименту;

$E_{\partial z}$ і E_{mm} – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття.

Також, можна використовувати функції релаксації у вигляді суми експонентів:

$$R(t) = H + \sum_{i=1}^n a_i \exp(-t/b_i), \quad (4)$$

де H , a_i , b_i – постійні. Але для достатньої точності апроксимації доводиться в виразі (4) використовувати суму з 10-15 членів.

Високої точності опису експериментально встановленої функції релаксації $R(t)$, як показує досвід, дозволяє добитися її уявлення у вигляді суми експонент.

Тому, в нашому випадку використовується функція релаксації за залежністю (3). Для визначення функції релаксації матеріалу, для будь-якої температури $R(t, T)$, достатньо знати функцію релаксації при будь-якій температурі $R(t, T)$ та коефіцієнт температурно-часового зміщення $a(T)$. Тоді можна записати:

$$R(t, T) = R(\mu, T_1), \quad (5)$$

$$\mu = \int_0^t \frac{dt}{a(T)}, \quad (6)$$

де μ – приведений час;

$a(T)$ – коефіцієнт температурно-часового зміщення, який залежить від температури;

T_1 – поточна температура.

Залежність $a(T)$ від температури T встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Отже, коефіцієнт $a(T)$ являє собою зсув за шкалою $\lg t$ функції релаксації, якщо $\lg a = 0$, то властивості матеріалу не залежать від температури. Тобто, чим більше значення $\lg a$, тим сильніше змінюються властивості матеріалу зі зміною його температури.

Температурно-часовий зсув a в загальному випадку для асфальтобетону є нелінійною функцією від температури, що отримано з результатів експериментальних досліджень [4-8].

Функцію температурно-часової аналогії описували виразом [4-8]:

$$a_T(T, Q) = e^{-p(T-Q)}, \quad (7)$$

де p – постійна, що визначається експериментально;

T, Q – температура відповідно поточна та приведена.

Залежність $\theta(T)$ (коефіцієнт температурно-часової аналогії) від температури T встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Дану залежність можна встановити в координатах:

$$\lg \theta(T) = (T(t) - T_s), \quad (8)$$

де $T(t)$ – поточна температура;

T_s – температура приведення.

Встановлені вимоги задовольняє залежність:

$$a(T) = \frac{1}{e^{p[T(t) - T_s]}}, \quad (9)$$

де p – деякий експериментальний параметр з розмірністю $[1/^\circ\text{C}]$;

$T(t)$ – поточна температура;

T_s – температура приведення.

Отже, визначивши даний параметр, можна з більшою точністю визначати максимальні дотичні зрізаючі напруження в асфальтобетонному покритті від дії навантаження транспортних засобів та температури.

Окрім цього, необхідна залежність функції релаксації від кількості полімеру типу СБС, що в свою чергу дозволить не тільки спростити самий розрахунок та підбір необхідного складу асфальтобетону, а також дозволить в короткий строк оптимізувати кількість полімеру типу СБС, для оцінки дотичних максимальних напружень в асфальтобетонному покритті.

У роботі [4, 5], в результаті лабораторних досліджень було виявлено особливість зміни функції релаксації в залежності від кількості полімеру типу СБС $\lg \delta(q) - (q(t) - q_n)$, однак не враховано час модифікації бітумного в'язучого полімером, що вагомо впливає на функцію релаксації. Отже, загальна схема зміни функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого полімером має такий вигляд (рис. 6).

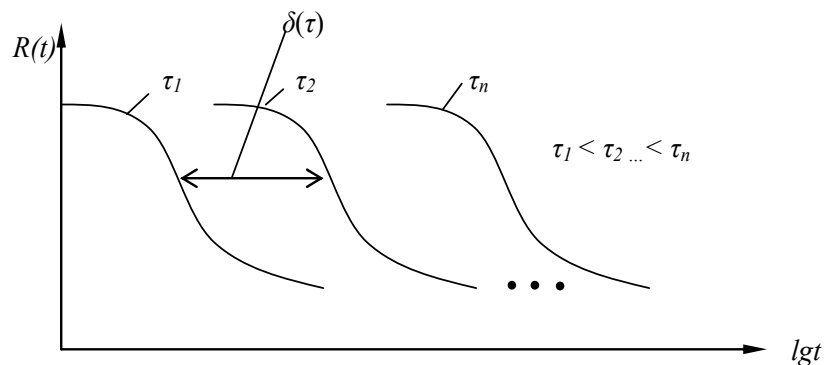


Рисунок 6 – Типовий графік функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого полімером, $\delta(\tau)$ – коефіцієнт концентраційно-часової аналогії, який залежить від часу перемішування бітумного в'язучого та полімерного латексу

Figure 6 – A typical graph of the relaxation function versus the time of bituminous binder polymer modification, $\delta(\tau)$ - is the coefficient of concentration-time analogy, which depends on the time of mixing bituminous binder and polymer latex

У результаті, можна застосувати так звану концентраційно-часову суперпозицію, що є подібною до функції релаксації, завдяки якій можна описати зміну функції релаксації від часу перемішування бітумного в'язучого та полімеру типу СБС. Функція концентраційно-часового зсуву представляє собою зсув за шкалою $\lg t$ функції релаксації.

Експериментально для кожного конкретного матеріалу встановлюється залежність $\delta(\tau)$ від температури T .

Дана залежність встановлюється в координатах:

$$\lg \delta(\tau) - (\tau(t) - \tau_n), \quad (10)$$

де $\tau(t)$ – поточний час перемішування;

τ_n – приведений час перемішування.

При підборі аналітичного виразу, за умови відомих властивостей експериментальної залежності $\lg \delta(\tau) = f(\tau(t) - \tau_n)$, використовували залежність:

$$\delta(\tau) = \frac{1}{e^{\beta[\tau(t) - \tau_n]}}, \quad (11)$$

де β – експериментальний параметр з розмірністю $[1/T]$;

$\tau(t)$ – поточний час перемішування;

τ_n – приведений час перемішування.

Отже, знаючи параметри функції $\delta(\tau)$ можна прогнозувати зміну функції релаксації в залежності від часу перемішування бітумного в'язучого та полімеру типу СБС, що в свою чергу покращить якість і точність розрахунків при проектуванні асфальтобетонного покриття на цементобетонній блочній основі, з метою оцінки зрізаючих максимальних дотичних напружень в покритті.

У тому випадку, коли реологічні властивості асфальтобетону залежать від температури, можна скористатися температурно-часовою суперпозицією для визначення температурних напружень, яка застосовується для термо-реологічно простих матеріалів [4-8].

Для визначення температурних напружень для змінних властивостей від змінної температури необхідно у функції релаксації час t та t_1 замінити на відповідні приведення:

$$\mu = \int_0^t \frac{dt}{a[T(t)]}, \quad (12)$$

$$\mu' = \int_0^{t_1} \frac{dt}{a[T(\tau)]}, \quad (13)$$

або

$$t - t_1 \quad \text{на} \quad \mu - \mu' = \int_{t_1}^t \frac{dt}{a[T(t)]}. \quad (14)$$

Таким вимогам задовольняє залежність:

$$a(T) = e^{-P(T_0 + k \cdot t - T_S)}, \quad (15)$$

де p – деякий експериментальний параметр з розмірністю $[1/^\circ\text{C}]$.

Підставимо знайдену залежність (14) в рівняння (6) та проведемо інтегрування:

$$\mu = \int_0^t \frac{dt}{\frac{1}{e^{-P(T_0 + k \cdot t - T_S)}}}, \quad \text{або} \quad \mu = \int_0^t e^{P(T_0 + k \cdot t - T_S)} dt. \quad (16)$$

Тоді (12) перепишемо:

$$\mu - \mu' = \int_{t_1}^t e^{P(T_0 + k \cdot t - T_S)} \cdot dt, \quad (17)$$

або

$$\mu - \mu' = \int_{t_1}^t e^{P(T_0 - T_S)} \cdot e^{P \cdot k \cdot t} \cdot dt, \quad (18)$$

або

$$\mu - \mu' = e^{P(T_0 - T_S)} \int_{t_1}^t e^{P \cdot k \cdot t} \cdot dt. \quad (19)$$

Виконаємо заміну перемінної. Нехай $u = P \cdot k \cdot t$, тоді $du = P \cdot k \cdot dt$;

$dt = \frac{1}{Pk} \cdot du$; при $t = t_1$, $u = P \cdot k \cdot t_1$; при $t = t$, $u = P \cdot k \cdot t$.

Тоді

$$\mu - \mu' = \frac{1}{P \cdot k} e^{P(T_0 - T_s)} \int_{P \cdot k \cdot t_1}^{P \cdot k \cdot t} e^u \cdot du, \quad (20)$$

або

$$\mu - \mu' = \frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_s)}}{P \cdot k} (1 - e^{+P \cdot k(t_1 - t)}), \quad (21)$$

або

$$\mu - \mu' = -\frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_s)}}{P \cdot k} (e^{-P \cdot k(t - t_1)} - 1). \quad (22)$$

З урахуванням (21) остаточно отримаємо функцію релаксації у такому вигляді:

$$R(\mu - \mu') = E_{\partial z} + (E_{mm} - E_{\partial z}) \cdot \left(1 + \frac{\frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_s)}}{P \cdot k} (e^{-P \cdot k(t - t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda}. \quad (23)$$

Знаючи приведений час та застосовуючи функцію релаксації у вигляді (23) для рівняння (2), а також інтегральне рівняння лінійної в'язкопружності, знайдемо дотичні зрізаючі максимальні напруження (2) в асфальтобетонному покритті з використанням полімеру типу СБС на цементобетонній блочній основі автомобільної дороги для розробленої розрахункової схеми (рис. 1), а також з урахуванням армування асфальтобетонного покриття:

$$\tau_{\max}(t, T(t)) = \left(\frac{(-a \cdot h + b) \cdot E_{\partial z} + (E_{mm} - E_{\partial z}) \cdot \left(1 + \frac{\frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_s)}}{P \cdot k} (e^{-P \cdot k(t - t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda}}{c} + 7.15 \cdot h^{-a} \right) \cdot K_{арм} \quad (24)$$

Де $K_{арм}$ - коефіцієнт армування асфальтобетонного покриття

Для оцінки тріщиностійкості пропонується умова граничного стану асфальтобетонних шарів на жорсткій основі дорожнього одягу автомобільних доріг, а саме напруження, що виникають при їх зрізанні під дією повторних короткочасних навантажень не повинні викликати порушення структури матеріалу й призводити до утворення зрізаючих тріщин, тобто повинна бути забезпечена умова:

$$K_{мц} \geq \frac{\tau_{заг}}{\tau_{\max}(t, T(t))} \quad (25)$$

де $K_{мц}$ – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності;
 $\tau_{заг}$ – гранично допустиме дотичне напруження зрізу матеріалу, шару з урахуванням втоми;
 $\tau_{\max}(t, T(t))$ – найбільше напруження розтягу у розглянутому шарі.

Обчислюють допустимі зрізаючі дотичні напруження за формулою:

$$\tau_{заг\ доп} = \tau_p, \quad (26)$$

де τ_p – розрахунковий опір зрізу з урахуванням повторної дії навантажень знаходять за формулою:

$$\tau_p = \tau_{лаб} k_m k_{кп} k_T \quad (27)$$

- де $\tau_{лаб}$ – лабораторне значення границі міцності на зріз за одноразового прикладання навантаження;
 k_m – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погод-но-кліматичних умов;
 k_T – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадкових впливів;
 $k_{кп}$ – коефіцієнт, що враховує повторність навантажень на дорозі знаходять за формулою:

$$k_{кп} = k_{нр} \times \sum N^{-\left(\frac{1}{m}\right)}, \quad (28)$$

- де $k_{нр}$ – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період;
 m – показник втоми;
 $\sum N$ – сумарна інтенсивність руху.

Висновки

1. Запропоновано розрахункову схему роботи асфальтобетонного покриття яке влаштоване на цементобетонній основі дорожнього одягу автомобільної дороги від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів для різних варіантів навантаження (1, 2, 3, ... , 18) які відрізняються положенням центру колеса по відношенню до центру шва x для визначення розтягуючих (σ) та зрізаючих (дотичних) (τ) напружень в покритті. Дана розрахункова схема дозволила розробити скінчено-елементну модель даної конструкції для моделювання і визначення розтягуючих (σ) та зрізаючих (дотичних) (τ) напружень в асфальтобетонному покритті від дії навантаження транспортного засобу.

2. Визначено наближену аналітичну залежність максимальних дотичних напружень в асфальтобетонному покритті яке влаштоване на цементобетонній основі дорожнього одягу автомобільної дороги від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів.

3. Отримано аналітичні залежності для розрахунку максимальних дотичних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті та його шарах від коливання температур, а також дії навантаження транспортних засобів. Ці аналітичні залежності отримані з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону, що описуються наступними функціями та параметрами: релаксації, концентраційно-часового зміщення.

4. Розроблена умова граничного стану для оцінки міцності при дії дотичних зрізаючих напружень в асфальтобетонному покритті на цементобетонній основі жорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів на тріщиностійкість з урахуванням заданого рівня надійності.

Перелік посилань

1. Мозговий В.В., Бесараб О.М., Іщенко О.М., Ладиженський І.С. Обґрунтування вибору умови граничного стану для оцінки тріщиностійкості асфальтобетонних шарів при дії транспортного навантаження// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2003, випуск №67. – Київ, Національний транспортний університет. – С.59-68.
2. І.С. Ладиженський, дослідження впливу армуючих сіток на температурну тріщиностійкість асфальтобетонних шарів// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2004, випуск № 70. – Київ, Національний транспортний університет. – С. 17-21.
3. В.В. Мозговий, В.В. Смолянець, І.С. Ладиженський, О.В. Прудкий. Уточнення розрахункових температур та інтенсивності руху при розрахунках дорожнього одягу міських вулиць і доріг// Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний збірник, №4 (19), 2004.– С.- 55-59.
4. Онищенко А. М. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / А. М. Онищенко, С.М. Худолій, М.В. Гаркуша, О.М. Лещук / Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37).
5. Онищенко А.М. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг / А.М. Онищенко, С.М. Худолій, Н.П. Чиженко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).
6. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91)/Минтранс России, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор).- М.: ФГПУ «Информавтодор», 2004. – 135 с.
7. Онищенко А. М., Кузьмінець М. П., Редченко В. П., Тарнопольський Д. Й., Аксьонов С. Ю. Теоретичні та експериментальні дослідження Південного мосту через р. Дніпро в Києві: монографія К.: НТУ, 2014. 341 с.
8. Онищенко А. М., Кузьмінець М. П., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В. Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних конструкціях: монографія К.: НТУ, 2015. 323. с.
9. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерного латексу Дис.к.т.н.: 22.05.11 – К., 2008. –157 с.

PREDICTION OF THE MAXIMUM LEVEL OF TANGENT STRESSES IN THE ASPHALT CONCRETE SURFACE LAYING ON THE CONCRETE BASE OF A MOTOR ROAD

Onyshchenko Artur M., Doctor of Technical Science, Professor, National Transportation University, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, +380687771899, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Soloviov Ihor L., Ph.D., associate Professor, National Transport University, assistant professor of the Department of Higher Mathematics, e-mail: i.soloviov@ntu.edu.ua, tel. 0442847109, Kyiv, Boychuk str., 42, K. 510, <https://orcid.org/0000-0001-5203-4139>.

Khudoliy Serhiy.M., Ph D, associate Professor, National Transport University, assistant professor of the Department of Higher Mathematics, Kyiv, Ukraine, s_hoodoliy@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6054-6708>

Fedorenko Oleh V., Head of the Ukravtodor road operation department, Kyiv, Ukraine, e-mail: 50281@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4288-5508>

Abstract. In this paper, in order to evaluate the tangential stress levels in the asphalt concrete coating arranged on concrete foundation, finite element modeling of various constructions of road clothing with different values of the thickness of the asphalt layer and its modulus of elasticity, was carried out. The thickness of the asphalt layer varied from 5 cm to 30 cm with a step of 5 cm. The modulus of elasticity of asphalt ranges from 3000 MPa to 9000 MPa. In addition, the position of the transport load in relation to the

deformation joint between the slabs of the concrete base varied for different versions of the structures. Calculations using the finite element method show that in this case τ_{xz} is the largest tangent component of the stress tensor. Among the different load positions, the option was chosen in which the tangential stress τ_{xz} in asphalt reaches a maximum in terms of modulus. Based on the maximum tangential stress values in the asphalt calculated in this way, a surface plot of the function $\tau_{\max}$ is obtained, which depends on two variables h and E . From the appearance of this surface, it can be seen that $\tau_{\max}$ increases with decreasing asphalt coating thickness and depends almost linearly on its elastic modulus. For this surface, an approximating function is proposed, with the help of which the level of maximum tangential stresses in the asphalt layer above the expansion joint can be approximately estimated for structures with intermediate values of h (cm) and E (MPa).

Based on this surface level diagram, the design parameters of road clothing can be chosen such that the maximum tangential stress level in it is lower than the allowable value.

Key words: highway, asphalt concrete coating, transport loads, stress field, stress-strain state.

References

1. Mozgoviy V.V., Besarab O.M., Ishchenko O.M., Ladyzhenskyi I.S. Justification of the selection of the limit state condition for evaluating the crack resistance of asphalt concrete layers under the action of traffic load// Automobile roads and road construction, 2003, issue No. 67. – Kyiv, National Transport University. - P.59-68.
2. I.S. Ladyzhenskyi, study of the influence of reinforcing meshes on the thermal crack resistance of asphalt concrete layers// Automobile roads and road construction, 2004, issue No. 70. - Kyiv, National Transport University. - P. 17-21.
3. V.V. Mozgoviy, V.V. Smolyanets, I.S. Ladyzhenskyi, O.V. Quick. Clarification of calculated temperatures and traffic intensity when calculating road wear of city streets and roads// Road safety of Ukraine. Scientific and technical collection, No. 4 (19), 2004. - pp. 55-59.
4. Onishchenko A.M., Khudolii S.M., Harkusha M.V. Leshchuk A.N. Prediction and assessment of residual strain of asphalt pavement using finite element method. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 1 (37).
5. Onyshchenko A. M., Khudolii S. N., Chyzhenko N.P. Numerical modelling of influence location of transport load on cementobetonno covering of highways. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).
6. Guidelines for the design of hard road pavement (instead of VSN 197 – 91) / Ministry of Transport of Russia, State service dor. households (Rosavtodor) .- M.: FGPU "Informavtodor", 2004, 135 p. [in Russia].
7. Onyshchenko A. M., Kuzminets M. P., Redchenko V. P., Tarnopolskyi D. Y., Aksyonov S. Yu. Theoretical and experimental studies of the Southern bridge over the Dnipro River in Kyiv: monograph. K.: NTU, 2014. 341 p.
8. Onyshchenko A. M., Kuzminets M. P., Nevinglovskyi V. F., Harkusha M. V. Theoretical and practical studies of the resource of asphalt concrete pavement on reinforced concrete transport structures: monograph. K.: NTU, 2015. 323. p.
9. Onyshchenko A M. Increasing the durability of asphalt concrete layers due to the use of polymer latex Dis. Ph.D. technical Sciences: 05.22.11. - K., 2008. - P. 157.

УДК 691.168
UDC 691.168

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097

**ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ЩОДО ДРЕНУЮЧОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

**ESTABLISHMENT OF TECHNICAL REQUIREMENTS REGARDING DRAINING
ASPHALT CONCRETE**



Усиченко Олена Юрійвна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, fbk@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеяновича-Павленка, 1, к. 138.,

<https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>



Желтобрюх Антон Дмитрович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. E-mail: antonoff18@gmail.com, тел. +380985510450.

<https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Анотація. *Вступ.* Установлено, що пористий дренуючий асфальтобетон (ДАБ) — це асфальтобетон каркасного відкритого типу, який спеціально розроблений з високим вмістом повітряних порожнеч, які призначені для видалення води з поверхні дорожнього покриття. Поверхні покриття, які включають дренуючі асфальтобетони, проникні шари зносу та пористі асфальтові покриття, набувають все більшого визнання серед дорожньої галузі світу.

Дренуючі асфальтобетони можуть бути чутливими до пошкоджень від замерзання та відтавання в холодному кліматі та потребуватимуть практики обслуговування взимку. Тривалість служби таких покриттів сильно відрізняється залежно від кліматичних умов, інтенсивності руху та навантажень, методів проектування та будівництва. Покриття з дренуючого асфальтобетону було створено для збільшення безпеки на дорогах, але крім високих зчіпних характеристик вони володіють високою пористістю, яка забезпечує водонепроникність, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок при дощовій погоді. Це веде до зниження ризику аквапланування і збільшення видимості на дорогах, а в кінцевому підсумку – до підвищення рівня безпеки автомобільних доріг.

Проблематика. Питання своєчасного відведення поверхневої води з дорожнього покриття є обов'язковим і вирішується шляхом надання поверхні дороги поперечного похилу. Як свідчить практика, це не достатньо забезпечує захист дорожнього покриття від негативного впливу води. Висока експлуатаційна безпека, підвищення експлуатаційних характеристик дорожнього покриття досягається завдяки усуненню з його поверхні скупчення водяних плям, які знижують зчеплення коліс з дорожнім покриттям. Ці якості можна покращити за рахунок впровадження дренуючого асфальтобетону. Однак термін служби дренуючих асфальтобетонів сильно відрізняється в залежності від кліматичних умов, інтенсивності руху та навантажень, концепцій проектування та методів

будівництва. Для подальшого вдосконалення поточних найсучасніших інструкцій щодо виробництва та застосування ДАБ для вирішення регіональних, дорожніх і кліматичних проблем, необхідний комплексний аналіз доступних на даний момент застосувань сумішей ДАБС для будівництва та обслуговування дорожніх покриттів.

Тому, на основі цього, сьогодні в Україні доцільно впровадити нормативні документи, які б регламентували проектування, виготовлення, технічні вимоги та виконання робіт за даною технологією, що дало б змогу для практичного використання, оптимізації та розвитку дорожньої галузі України в цьому напрямку.

Мета. Виробництво асфальтобетонних сумішей та влаштування дорожнього покриття із дренуючого асфальтобетону. Оцінка нормативної бази світу та встановлення рекомендацій та технічних вимог щодо виробництва та влаштування дренуючих асфальтобетонів.

Матеріали і методи. Експериментальні та експериментально-аналітичні.

Результати. Проведено аналіз існуючого досвіду використання дренуючого асфальтобетону, умов його застосування. Теоретичні дослідження процесу формування асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор. Проведено експериментальні дослідження з підбору зернового складу та вмісту бітуму в дренуючому асфальтобетоні. Розроблено рекомендації з виробництва дренуючих асфальтобетонних сумішей та влаштування з них покриття.

Висновки. Важливу роль в експлуатаційній надійності та довговічності дренуючого асфальтобетону відіграють властивості складників, а також співвідношення між мінеральними матеріалами та бітумним в'язучим. Найбільшу увагу в європейських країнах приділяють вузькому зерновому складу сумішей, особливо вимогам до крупних заповнювачів та бітумних в'язучих. Для виробництва дренуючого асфальтобетону використовують щебінь вузьких фракцій, оскільки він має особливий гранулометричний склад, на відміну від типових щільних та щебенево-мастикових асфальтобетонів має достатньо велику пористість та вимагає вкрай високої уваги та жорстких вимог до щебених матеріалів. Тому, важливим кроком для впровадження перспективної будівельної технології, була б розробка рекомендацій щодо дренуючих асфальтобетонів в Україні, яка включатиме в себе технічні вимоги, рекомендації щодо проектування та застосування, правила приймання та методи контролю.

Ключові слова: дренуючий асфальтобетон, дренуючі асфальтобетонні суміші, зерновий склад, відкриті пори, пористість.

Вступ

Дренуючий асфальтобетон (ДАБ) – це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю пустот між зернами щебеню, які дозволяють воді вільно стікати через його структуру до непронижного шару. Переваги ДАБС, пов'язані з безпекою та навколишнім середовищем, були визнані в світі протягом багатьох років [7]. Використання таких сумішей сприяє видаленню води з поверхні покриття і тим самим забезпечує кращий коефіцієнт зчеплення між шинами та дорожнім покриттям, таким чином мінімізуючи аварійність у дощову погоду, і, в той же час, знижуючи рівень шуму від руху. На рис.1 показано різницю в пористості між дренуючим і щільним асфальтобетоном. ДАБ дозволяє воді вільно проникати через його структуру завдяки високій пористості. Завдяки цьому пористі дренуючі асфальтобетони поступово отримали визнання в усьому світі [7].

Дренуючий асфальтобетон це пористий матеріал, який застосовують як шару зносу покриття автомобільних доріг поверх щільного асфальтобетону. У США цей матеріал отримав назву «Open graded friction course» («OGFC»), його застосовують вже понад 70 років [1].

Дренуючі асфальтобетони набули широкого поширення в США та Європі. В США дренуючі асфальтобетони з найбільшим вмістом бітуму 7 % використовують для влаштування шару зносу по зношеному асфальтобетонному покриттю, що підлягає ремонту. В Європейських країнах і Японії дренуючий асфальтобетон використовують під час будівництва автомобільних доріг з метою підвищення зчеплення колеса автомобіля з покриттям під час дощу, оскільки вода не затримується на поверхні цього покриття і швидко по порам прямує до узбіч. Ця обставина виключає явище «аквапланування» при швидкому русі автомобіля. Так, при швидкості 100 км/год коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям з дренуючого асфальтобетону знижується всього на 20 %, а з

покриттям з щільного асфальтобетону - на 50 %, перевищуючи його за абсолютним значенням майже в 2 рази.



Рисунок 1 – Відмінність drenуючих асфальтобетонів від типових щільних
Figure 1 – The difference between draining asphalt concrete and typical dense concrete

Вироблену за звичайною технологією високопористу асфальтобетонну суміш влаштовують на щільний асфальтобетон і ущільнюють виключно гладковальцевими самохідними котками. Найкращу drenуючу здатність ущільнений шар має при товщині не менше ніж 4 см. Покриття з drenуючого асфальтобетону дає менше шуму при русі транспортних засобів, ніж покриття з щільного шорсткого асфальтобетону. Дане покриття є колієстійким.

Drenуюча здатність асфальтобетону залежить як від початкової пористості, так і від ступеня замулювання при русі транспортних засобів. Кольматація пор може бути зменшена шляхом влаштування укріплених узбіч і ліквідації з'їздів на ґрунтові дороги, а також вчасним і правильним утриманням в період експлуатації.

Відповідно до досвіду Англії, пористість поверхні поступово зменшується і через 4 роки дорівнює близько 50 % від початкової. За даними закордонних джерел, drenуючий асфальтобетон розрахований на 15 років експлуатації автомобільної дороги.

Основна частина

Методика проектування drenуючих асфальтобетонних сумішей, перші принципи якої були розроблені FHWA в 1974 році, відрізнялася від методики підбору для звичайних сумішей, що пов'язано з особливістю структури цього матеріалу. Незалежно від застосовуваного методу підбору складу висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності drenуючого асфальтобетону. Більшість методів проектування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендує підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки [1].

Крім США активне застосування drenуючого асфальтобетону мало місце і в інших країнах, серед яких можна відзначити Японію, Великобританію, Францію, Нідерланди, Німеччину. На відміну від drenуючих асфальтобетонів, що використовуються в США (OGFC), в Європі drenуючі асфальтобетони мають дещо більшу пористість від 18 % до 22 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів.

Проектування дренуючого асфальтобетону включає вибір заповнювачів та в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші на стікання та асфальтобетону на стирання та водостійкість [8].

Першим кроком у процесі проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. До заповнювача висуваються жорсткі вимоги до стираності, вмісту подрібнених зерен, вмісту зерен лещадної та голчастої форм, а також до адсорбційної спроможності. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним та витримувати транспортні навантаження, оскільки дренуючий асфальтобетон складається з заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних частинок і має структуру «камінь на камені». Тому, було проведено випробування вихідних матеріалів, результати яких наведено в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1 – Випробування бітуму
Table 1 – Bitumen testing

Ч. ч.	Найменування показника	Результат випробування
1	Однорідність	У в'язучому відсутні згустки та частинки полімеру
2	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	59
3	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	70,0
4	Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	91
5	Розтяжність (дуктильність) за температури 0 °С, см	23
6	Еластичність за температури 25 °С, %	90
7	Температура крихкості, °С	нижче ніж мінус 30
8	Зчеплюваність з поверхнею щебеню, бал	5
9	Зчеплюваність з поверхнею скла, %	100
10	Залишкова пенетрація, %	86
11	Зміна температури розм'якшеності після прогріття, °С	4,2

Щебінь, який використовують для виробництва дренуючого асфальтобетону, повинен мати значення стираності менше ніж 30 %. При використанні менш міцного щебеню слід бути обережним, оскільки є ймовірність надмірного руйнування заповнювача під час виробництва асфальтобетонної суміші та її ущільнення.

Подібно до щільних сумішей, ступінь поглинання може впливати на експлуатаційні властивості дренуючого асфальтобетону. Перевагу треба надавати заповнювачам з відносно низьким водопоглинанням (менше ніж 2 %) [8].

На другому етапі було виконано підбір гранулометричного складу в залежності від області застосування дренуючих асфальтобетонів згідно технічних норм. У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду. Так, в Німеччині, таким документом є «TL Asphalt-StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen» [3], який і було взято за основу для виконання цього етапу. Згідно з цим документом температура дренуючої асфальтобетонної суміші повинна бути в межах (140 – 170) °С. Застосування фрезерованого асфальтобетону не допускається. Зернові склади дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині, в залежності від максимального розміру зерен щебеню (TL Asphalt-StB07) [3], представлено в таблиці 3. При цьому регламентуються: пористість - в межах від 24 % до 28 %, мінімальний вміст в'язучого – від 5,5 % до 6,5 %, в залежності від максимального розміру щебеню. Застосування стабілізуючих добавок обов'язкове. Дуже жорсткі вимоги пред'являються до мінеральних заповнювачів по стійкості до зносу та вмісту подрібнених зерен (100 %)

Таблиця 2 – Випробування вихідних щебневих матеріалів
Table 2 – Testing of raw crushed stone materials

Ч. ч.	Найменування показників	Фактичні значення показників для фракції	
		5 - 10	10 - 20
1	Зерновий склад за повним залишком на контрольних ситах: - 1,25 Д _{найб} , % за масою - Д _{найб} , % за масою - 0,5 (Д _{найм} + Д _{найб}), % за масою - Д _{найм} , % за масою	0 6 60 95	0 7 62 93
2	Вміст пиловидних та глинистих часток, % за масою	0,60	0,3
3	Вміст глини у грудках, % за масою	0,0	0,0
4	Група за формою зерен	кубовидна	кубовидна
5	Марка щебеню за міцністю	1200	1200
6	Вміст зерен слабких порід, % за масою	0,6	0,4
7	Марка щебеню за стираністю	Ст-I	Ст-I
8	Марка щебеню за морозостійкістю	F300	F300
9	Дійсна щільність, г/см ³	2,80	2,80
10	Середня щільність, г/см ³	2,72	2,71

Оскільки для виробництва дренажного асфальтобетону використовують щебінь вузьких фракцій, наявні фракції щебеню було розсіяно з використанням сит з квадратними отворами на фракції 11/16, 8/11 та 5/8 [8].

Підібраний гранулометричний склад мінеральної частини асфальтобетонних сумішей для дренажного асфальтобетону було підібрано методом граничних кривих та наведено в таблиці 3. Для прикладу показано графічне зображення підбраного зернового складу для суміші ДАБС 11 на рисунку 2.

Таблиця 3 – Підібраний гранулометричний склад мінеральної частини
Table 3 – Selected granulometric composition of the mineral part

Розмір отворів сита, мм	Повний прохід, % за масою, в залежності від типу дренажного асфальтобетону								
	ДАБС 16			ДАБС 11			ДАБС 8		
22,4	100	100	100	-	-	-	-	-	-
16	90	100	95	100	100	100	-	-	-
11,2	5	15	10	90	100	95	100	100	100
8	-	-	-	5	15	10	90	100	95
5,6	-	-	-	-	-	-	5	15	10
2	5	10	6	5	10	7	5	10	9
0,063	3	5	3,5	3	5	4	3	5	4,5

Для встановлення оптимального вмісту бітуму було вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %.

Виробництво асфальтобетонних сумішей в лабораторних умовах виконували відповідно до ДСТУ EN 12697-35 [10].

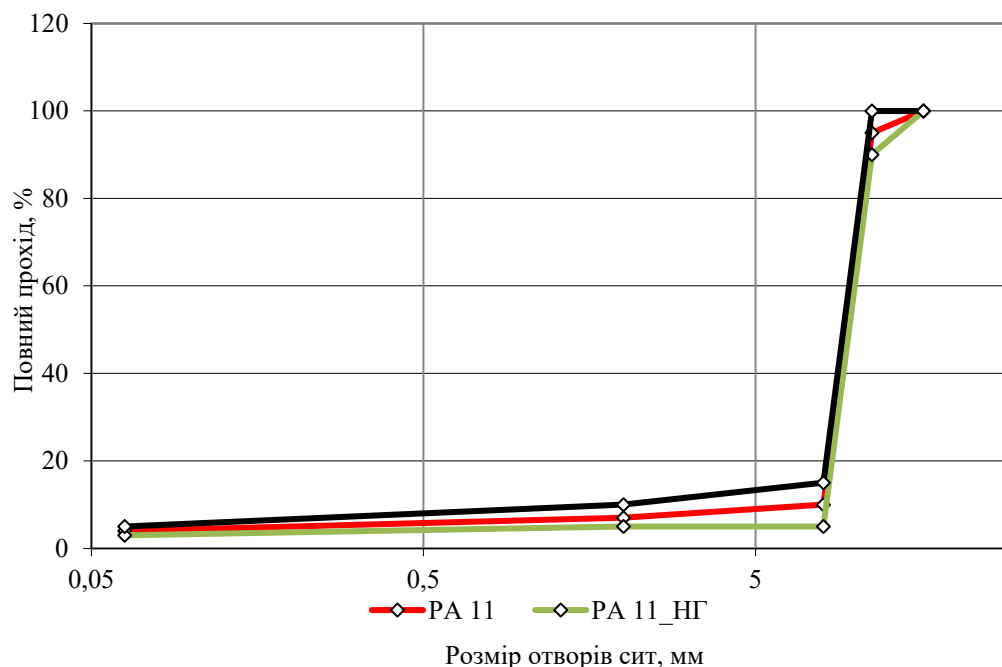


Рисунок 2 – Графічне зображення зернового складу суміші ДАБС 11
Figure 2 – Graphic representation of the grain composition of the DAC 11 mixture

Для приготування дренуючих асфальтобетонів рекомендовано використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище ніж зазвичай використовують в даному регіоні в залежності від максимальної температури повітря впродовж 7 діб [2]. Для підвищення міцності та довговічності рекомендовано також використання волокнистих стабілізуючих добавок в кількості від 0,3 % до 0,6 %. Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала.

Один з результатів випробування дренуючого асфальтобетону залежно від максимального розміру зерен 11 мм наведено в таблиці 4. Також для прикладу, показано залежність залишкової пористості в залежності від вмісту бітуму у ДАБС. (рис. 3).

Таблиця 4 – Результати випробування дренуючого асфальтобетону ДАБ 11
Table 4 – Test results of the draining asphalt concrete DAC 11

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренуючого асфальтобетону ДАБ 11 з вмістом бітуму, %		
	6,0	6,5	7
Пористість мінеральної частини, %	34	33,3	32,1
Залишкова пористість, %	23,2	22,4	21,2
Міцність, кН	22,1	23,6	24,1

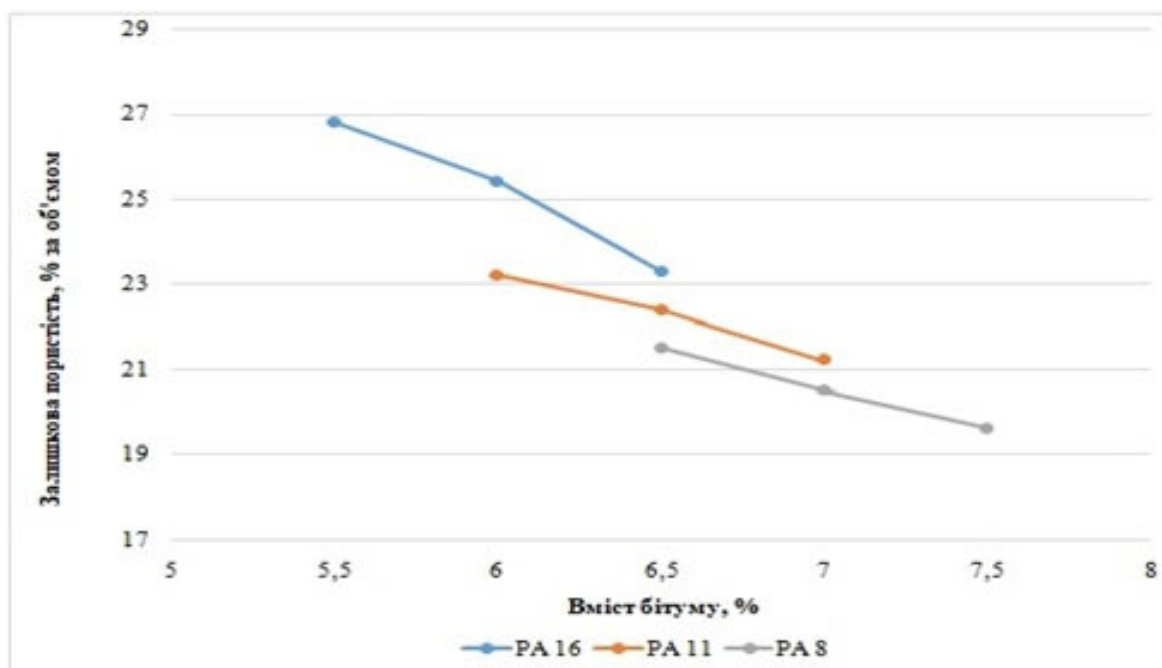


Рисунок 3 – Залежність залишкової пористості асфальтобетону від вмісту бітуму
Figure 3 – Dependence of residual porosity of asphalt concrete on bitumen content

Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконують виходячи з економічних міркувань і накопиченого досвіду та за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала. Вміст в'язучого залежить від типу суміші. Так, наприклад, для типу ДАБ 8 мінімальний вміст бітуму становить 6,5 %, а для типу ДАБ 16 – 5,5 % [9].

При проектуванні конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу з дренажним асфальтобетоном виконують основні принципи проектування відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559. При цьому необхідно враховувати максимальну інтенсивність зливових опадів. Найбільш сприятливими умовами для експлуатації дренажних покриттів є такі, що відповідають водно-тепловому режимові теплого періоду року. Тому, для можливості ефективної експлуатації таких покриттів у природних умовах України, що характеризуються досить тривалим холодним періодом з пониженими температурами потрібні водостійкі асфальтобетони. Під час вибору дренажного асфальтобетону необхідно враховувати критичний період роботи дренажного асфальтобетону, а саме максимальну інтенсивність зливових опадів [9].

За аналізом Довідника № 4 розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів. Завдяки цьому можна виконати поділ території за інтенсивністю зливових опадів на дев'ять зон з інтенсивністю зливових опадів від менше ніж 0,113 мм/хв до більше ніж 0,183 мм/хв. Більш інтенсивні опади мають місце на західній та південній частині України. При цьому, на західній Україні більш низькими є температури нагрівання покриття. Використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренажного асфальтобетону то його необхідну товщину.

Другою важливою характеристикою є кліматичні умови роботи дренажного асфальтобетону. Умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренажного асфальтобетону можна розділити на три райони. Для кожного району буде визначено рекомендовані марки бітуму. При цьому, для дренажного асфальтобетону обов'язково треба використовувати бітум, модифікований полімером. Враховуючи те, що дренажний асфальтобетон містить незначну кількість дрібних зерен та на 90 % складається переважно з однофракційного щебеню, для його виробництва необхідно використовувати більш в'язкі бітуми, ніж це наразі передбачено для щільних асфальтобетонних сумішей, оскільки в дренажному асфальтобетоні практично не відбувається структуривання бітуму [9].

Враховуючи максимальну інтенсивність зливових опадів та районування за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону, було встановлено вимоги до бітуму та розроблено конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг.

Для забезпечення водонепроникності основи та належного зчеплення з нею дренуючого асфальтобетонного покриття обов'язковою умовою є нанесення підгрунтовки бітумною емульсією. Це дозволяє згерметизувати пори в шарі основи та в подальшому не допускає потрапляння через дренуючий асфальтобетон води в нижче розміщені шари.

Проаналізувавши інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи, провівши всі експериментальні дослідження було розроблено та впровадженню Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації з виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону» [15]. Ці рекомендації поширюються на виробництво та влаштування дренуючих асфальтобетонних сумішей (далі —ДАБС) та асфальтобетони з них (далі —ДАБ) на автомобільних дорогах загального користування та призначені для використання дорожніми підприємствами і організаціями, незалежно від форми їх власності, які виконують роботи з будівництва і ремонту автомобільних доріг загального користування. У цих рекомендаціях подано класифікацію за найбільшим максимальним номінальним розміром зерен заповнювача, технічні вимоги до матеріалів, складу, властивостей, виробництва тощо.

У процесі проектування ДАБС дуже важливим етапом є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. Особливу увагу було приділено заповнювачам. Вимоги до заповнювачів є досить різноманітними і вони, в основному, стосуються основних властивостей, які впливають на характеристики ДАБ і пов'язані з розміром зерен. Це призвело до появи багатьох вимог до окремих фракцій – одні до крупних (активних) заповнювачів, інші – до дрібних. Вимоги до крупного заповнювача насамперед представлені його міцністю (стійкість до дроблення або роздавлювання), відсотком подрібненості, вмістом пилюватих частинок, формою зерен, стійкістю до полірування та стійкістю до зовнішніх факторів. Вимоги до дрібного заповнювача представлені гострокутністю (показником текучості), вмістом пилюватих частинок та відсутністю в них частинок, що набрякають.

Виходячи з типу каркасу із крупного заповнювача основною його властивістю є стійкість до дроблення. Цю стійкість в більшості європейських країн оцінюють з використання методу Los Angeles (індекс LA). Діапазон допустимого індексу LA в національних специфікаціях зазвичай становить від 20 % до 30 %. Загалом, стійкість до дроблення має вирішальне значення, і її необхідно перевіряти, оскільки використання слабких заповнювачів може призвести до незадовільної роботи всього шару. В Україні додатково оцінюють міцність крупного заповнювача за дробильністю при стисненні, тобто ми використовуємо додаткові показники для оцінювання міцності крупного заповнювача. Тому для виробництва ДАБС треба використовувати щебінь та пісок з відсівів із вивержених або метаморфічних гірських порід та мінеральний порошок згідно з ДСТУ EN 13043. Вимоги до щебеню та піску представлені в рекомендаціях наведено в таблицях 5, 6 [15].

Таблиця 5 – Вимоги до властивостей крупного заповнювача (щебеню) для виробництва ДАБС
Table 5 – Requirements for the properties of coarse aggregate (crushed stone) for the production of DAC

Ч. ч.	Найменування показника	Категорія згідно з ДСТУ EN 13043
1	Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми	SI ₁₅
2	Стійкість до подрібнення	LA ₂₀ , SZ ₁₈
3	Водопоглинання	W _{cm0,5}
4	Морозостійкість	F ₁
5	Вміст пилюватих і глинистих часток заповнювачі: - фракції 2/5, 5/8 - фракції 8/11	f ₂ f ₁

Таблиця 6 – Вимоги до властивостей дрібного заповнювача (піску) для виробництва ДАБС
Table 6 – Requirements for the properties of fine aggregate (sand) for the production of DAC

Ч. ч.	Найменування показника	Категорія згідно з ДСТУ EN 13043
1	Фракція	G _{F85}
2	Вміст пилюватих і глинистих часток	f ₃

Застосування стабілізуючих добавок обов'язкове. Вимог до стабілізуювальних добавок практично не існує. Тим паче, перевірити їх у виробничій лабораторії проблематично. В основному для підтвердження якості стабілізуювальної добавки використовують показник стікання. В окремих країнах встановлено вимоги до її вологості та термостабільності. За відповідними показниками стабілізуювальні добавки також оцінюють в Україні. Для виробництва ДАБС треба використовувати стабілізуючі добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 [14].

Найперше та найважливіше завдання, це якісно підібрати склад ДБАС, оскільки це в подальшому може сприяти уникненню ряду проблем. Перший крок, який необхідно зробити – це встановити найбільший номінальний розмір зерен заповнювача у суміші. Під час розгляду цього питання треба враховувати розташування шару ДБАС у конструкції дорожнього одягу, розрахункову товщину шару після ущільнення, транспортне навантаження, розташування ділянки дороги. Зерновий склад мінеральної частини ДАБС має відповідати вимогам таблиці 7. Мінімальну кількість бітуму та стабілізуючої добавки у складі ДАБС наведено в таблиці 8.

Таблиця 7 – Вимоги до зернового складу ДАБС
Table 7 – Requirements for grain composition of DAC

Вид	Вміст мінеральних зерен, % за масою, менших даного розміру, мм						
	22	16	11	8	5	2	0,063
ДАБС 11		100	90-100	5-15	-	5-10	3-5
ДАБС 8			100	90-100	5-15	5-10	3-5

Таблиця 8 – Вимоги до мінімального вмісту бітумного в'язучого та стабілізуючої добавки у складі ДАБС

Table 8 – Requirements for the minimum content of bituminous binder and stabilizing additive in the composition of DABS

Вид	Мінімальний вміст бітуму, % за масою	Мінімальний вміст стабілізуючої добавки, % за масою
ДАБС 11	6,0	0,4
ДАБС 8	6,5	0,5

Згідно рекомендацій показник стікання в'язучого з ДАБС повинен становити не більше ніж 0,15% за масою [15].

Мабуть найбільш використовуваними та перевіренними у всьому світі є об'ємні властивості ДАБ. Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту порожнеч у ущільнених зразках. Механічні вимоги визначають рідко, тоді як властивості, пов'язані з

експлуатаційною надійністю, переважно застосовують до ДАБ для автомобільних доріг із значним транспортним навантаженням. У таблиці 9 наведено встановлені вимоги до ДАБ.

Таблиця 9 – Вимоги ДАБ
Table 9 – Requirements for DAC

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги до властивостей ДАБ
1	Залишкова пористість, % за об'ємом	від 18 до 26
2	Коефіцієнт водостійкості, не менше	0,90
3	Проникність (горизонтальна та вертикальна)	не нормується, визначення обов'язкове
4	Глибина колії після 20000 проходів колеса, при еквівалентному навантаженні на нього 57,5 кН та температурі випробування 50 °С	не нормується, визначення обов'язкове
5	Стираність	не нормується, визначення обов'язкове

Варто зауважити, що показник 3, 4 та 5 визначають під час підбору складу ДАБС з метою накопичення даних та встановлення залежності проникності від залишкової пористості.

Рекомендовані температури нагрівання бітумного в'язучого під час виробництва ДАБС, температуру нагрівання заповнювачів на виході із сушильного барабана, температуру ДАБС на виході зі змішувача та на початку ущільнення наведено в таблиці 10. Зазначені температури уточнюють експериментально для кожного запроєктованого складу ДАБС у конкретних умовах виробництва [15].

Таблиця 10 – Температура нагрівання складових під час виробництва ДАБС і температура ДАБС на виході із змішувача та на початку ущільнення

Table 10 – The temperature of heating the components during the production of DAC and the temperature of DAC at the exit from the mixer and at the beginning of compaction

Ч. ч.	Марка бітуму	Температура, °С			
		бітуму, що подають у змішувач	заповнювачів на виході із сушильного барабана	ДАБС на виході зі змішувача	ДАБС на початку ущільнення
1	БМПП 35/50-70, БМКП 35/50-70	від 160 до 170	від 170 до 180	від 155 до 170	від 145 до 160
2	БМПП 50/70-65, БМКП 50/70-65	від 150 до 160	від 165 до 175	від 150 до 165	від 140 до 155

Примітка. У разі використання добавок на основі поверхнево-активних речовин температуру суміші й температуру нагрівання заповнювачів та бітуму може бути знижено.

Допустима похибка дозування компонентів під час виробництва ДАБС не повинна перевищувати:

- для щебеню та піску $\pm 3\%$;
- мінерального порошку та бітуму $\pm 1,5\%$;

—стабілізуючої добавки $\pm 1,0\%$

Відхилення зернового складу мінеральної частини ДАБС у межах вимог таблиці 7 не допускається.

Виробництво запроектованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня нагріваного матеріалу є набагато меншою, ніж для щільних сумішей і піддається більшому впливу полум'я, тому треба слідкувати, щоб температура матеріалу була не дуже високою та постійною.

Температурний діапазон та часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням суміші не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хвилин. Температура ДАБС на автомобілях-самоскидах на початку вивантаження в асфальтоукладач повинна відповідати вимогам таблиці 10. Укладання шару з ДАБС виконують за температури повітря не нижче ніж 10°C . Не допускається влаштування шарів дорожнього одягу з ДАБС у дощову погоду, на мокрій або замерзлий шар основи.

Влаштування ДАБС виконують по всій ширині покриття. Якщо ширина укладання буде більшою за технічну ширину укладання асфальтоукладачем, дозволено укласти ДАБС декількома асфальтоукладачами. При цьому відстань між асфальтоукладачами повинна становити від 10м до 30м. Якщо ДАБС однакового складу надходить на ділянку будівництва більше ніж з одного АБЗ, то ДАБС з кожного АБЗ повинна укладатись окремим асфальтоукладачем.

Продуктивність асфальтоукладача, асфальтобетонного заводу, транспортних засобів та ущільнюючих котків повинні бути узгоджені так, щоб асфальтоукладач працював безперервно та рухався з постійною швидкістю. Зупинки асфальтоукладача слід звести до мінімуму, оскільки вони негативно впливають на рівність влаштованого шару покриття. Швидкість асфальтоукладача не повинна бути більшою ніж 3м/хв. Після проходу асфальтоукладача на поверхні укладеного шару не повинно бути раковин, нерівностей, порушення суцільності й інших дефектів. До початку ущільнення шару котками помічені дефекти необхідно виправити вручну шляхом додавання й розрівнювання гарячої суміші або видаленням матеріалу. Одразу після укладання ДАБС її рівномірно ущільнюють укочуванням. Схему руху котків приймають аналогічною схемі руху при ущільненні гарячих асфальтобетонних сумішей. Прийнятої схеми руху котків необхідно дотримуватись на всій ділянці та площі, щоб забезпечити необхідну щільність шару. Для ущільнення укладеного шару ДАБС треба використовувати гладковальцеві котки масою не менше ніж 8т. Забороняється використовувати пневматичні котки. Швидкість руху котків на початку ущільнення не повинна перевищувати більше ніж 5 км/год. Котки повинні рухатись ведучим вальцем вперед у напрямку влаштування шару. Ущільнення повинно розпочинатися з нижньої кромки шару, чергові проходи котка повинні зміщуватись у напрямку вищої кромки з перекриттям попередніх проходів.

У процесі ущільнення для забезпечення необхідного рівня ущільнення рекомендовано використовувати радіоізотопні щільноміри. ДАБС треба ущільнити до досягнення щільності, що становить не менше ніж 0,98 від проектного значення щільності. Завершальне ущільнення повинне розпочинатися з вищої кромки шару, а чергові проходи котка повинні зміщуватись у напрямку нижньої кромки з перекриттям попередніх проходів. Товщина ущільненого асфальтобетонного шару дорожнього одягу із ДАБС 11 має становити від 5 см до 6 см, з ДАБС 8 — від 4 см до 5 см.

Під час експлуатаційного утримання автомобільних доріг із шаром зносу з дренажного асфальтобетону для боротьби із ожеледицею заборонено використовувати піщано - соляні суміші. Необхідно здійснювати превентивні заходи з нанесення рідких протижеледних матеріалів.

Контролювання якості ДАБС та ДАБ здійснюють згідно з стандартами серії ДСТУ EN 12697. Зразки із ДАБС виготовляють згідно з ДСТУ EN 12697-30. Температура ДАБС під час виготовлення зразків має відповідати вимогам таблиці 10 для випадку початку ущільнення. Детальні та повні правила, вимоги та рекомендації відображено в Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації з виробництва та влаштування дренажного асфальтобетону» [15].

Висновки

Дренуючий асфальтобетон є перспективним дорожньо-будівельним матеріалом, застосування якого може підвищити безпеку руху на автомобільних дорогах, а також зменшити шум від транспорту.

Відповідно до досвіду Англії, пористість поверхні поступово зменшується і через 4 роки дорівнює 50 % від початкової. Незважаючи на велику відкриту пористість дренуючий асфальтобетон є досить водо- і морозостійким. Відповідно до закордонних даних, дренуючий асфальтобетон розрахований на експлуатацію в покритті автомобільної дороги впродовж 15 років.

Незважаючи на свої переваги з точки зору споживчих властивостей, при застосуванні дренуючих асфальтобетонів в умовах України можуть виникнути проблеми пов'язані із застосуванням протижелезних матеріалів у вигляді піщано-соляних сумішей. Подібні матеріали забивають пори в дренуючому асфальтобетоні. Застосування дренуючого асфальтобетону можливо при переході на хімічний спосіб боротьби з ожеледицею (застосування чистих солей), а також організацією промивання коліс автомобілів при в'їзді на ділянки з дренуючим асфальтобетоном, або очищення та промивання в період експлуатаційного утримання покриття з дренуючого асфальтобетону.

Проектування складу асфальтобетонної суміші для дренуючого асфальтобетону включає підбір вихідних матеріалів, підбір оптимального їх співвідношення в асфальтобетонній суміші, підбір оптимального вмісту в'язучого та оцінювання водостійкості та залишкової пористості зразків дренуючого асфальтобетону.

Товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та поздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей дренуючого асфальтобетону. Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Проаналізувавши інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи, провівши всі експериментальні дослідження було розроблено та впроваджено Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації з виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону», які включають в себе технічні вимоги, рекомендації щодо проектування та застосування, правила приймання та методи контролю.

Впровадження дренуючого асфальтобетону та проведення лабораторних досліджень з встановлення додаткових вимог до проектування складу та визначення таких показників, як проникність (горизонтальна та вертикальна), глибина колії після 20000 проходів колеса, при еквівалентному навантаженні на нього 57,5кН та температурі випробування 50 °С, стиратості дозволить накопичити дані для удосконалення існуючих та впровадження нових нормативних документів та встановлення залежності проникності від залишкової пористості.

Перелік посилань

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (дата звернення: 07.02.2022).
2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wpcontent/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
3. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen.
4. Prithvi S., Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Aspphalt_Friction_Courses.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

5. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (дата звернення: 20.04.2020).
6. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (дата звернення: 20.04.2020).
7. Jian-Shiuh Chen, Chin Hung Yang (2020): Porous asphalt concrete: A review of design, construction, performance and maintenance, *International Journal of Pavement Research and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0039-7> (дата звернення: 3.04.2023).
8. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Соколов О. В. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 21. С. 168-176. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168>.
9. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40-47. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040>.
10. ДСТУ EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2020. 24 с. (Інформація та документація).
11. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt.
12. ASTM D7064/D7064M-08 (2013) Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design.
13. ASTM D6932 / D6932M - 08(2013) Standard Guide for Materials and Construction of Open-Graded Friction Course Plant Mixtures.
14. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебеневі-мастикові. Технічні умови. Київ. 2015. 26 с. (Інформація та документація).
15. Р В.2.7-3764:1918-919:2021 Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренажного асфальтобетону. Київ. 2021. 16 с. (Інформація та документація).

ESTABLISHMENT OF TECHNICAL REQUIREMENTS REGARDING DRAINING ASPHALT CONCRETE

Usychenko Olena Yu., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University. <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>.

Zheltobriukh Anton D., is a graduate student of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University. E-mail: antonoff18@gmail.com, phone +380960736425, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Abstract

Introduction. It has been established that porous draining asphalt concrete (DAC) is an open-frame asphalt concrete that is specially designed with a high content of air voids, which are designed to remove water from the surface of the road surface. Pavement surfaces that include draining asphalts, permeable wear courses, and porous asphalt pavements are gaining more and more acceptance in the road industry worldwide.

Drainable asphalt can be susceptible to freeze-thaw damage in cold climates and will require winter maintenance practices. The service life of such coatings varies greatly depending on climatic conditions, intensity of traffic and loads, design and construction methods. Drainage asphalt pavements were created to increase road safety, but in addition to high traction characteristics, they have high porosity, which provides water permeability, which reduces the amount of surface water and thus reduces the formation of splashes in

rainy weather. This leads to a reduction in the risk of aquaplaning and an increase in road visibility, and ultimately to an increase in road safety..

Problem statement. The issue of timely removal of surface water from the road surface is mandatory and is solved by providing the road surface with a transverse slope. As practice shows, this does not sufficiently protect the road surface from the negative effects of water. High operational safety, improvement of the operational characteristics of the road surface is achieved due to the removal of the accumulation of water stains from its surface, which reduce the adhesion of the wheels to the road surface. These qualities can be improved by introducing draining asphalt concrete. However, the service life of draining asphalt concrete varies greatly depending on climatic conditions, traffic intensity and loads, design concepts and construction methods. In order to further improve the current state-of-the-art instructions for the production and application of DAC to solve regional, road and climate problems, a comprehensive analysis of the currently available applications of DAC mixtures for the construction and maintenance of road surfaces is necessary.

Therefore, on the basis of this, today in Ukraine it is expedient to introduce normative documents that would regulate the design, manufacture, technical requirements and performance of works according to this technology, which would allow for practical use, optimization and development of the road industry of Ukraine in this direction.

Purpose. Production of asphalt concrete mixtures and arrangement of road surface from draining asphalt concrete. Assessment of the regulatory framework of the world and establishment of recommendations and technical requirements for the production and installation of draining asphalt concrete.

Materials and methods. Experimental and experimental-analytical.

Results. An analysis of the existing experience of using draining asphalt concrete, conditions of its use, was carried out. Theoretical studies of the process of forming asphalt concrete with a structure of interconnected open pores. Experimental studies on the selection of grain composition and bitumen content in draining asphalt concrete have been conducted. Recommendations for the production of draining asphalt concrete mixtures and the arrangement of a covering from them have been developed.

Conclusions. An important role in the operational reliability and durability of draining asphalt concrete is played by the properties of the components, as well as the ratio between mineral materials and bituminous binder. In European countries, the greatest attention is paid to the narrow grain composition of mixtures, especially the requirements for large aggregates and bituminous binders. For the production of drainable asphalt concrete, crushed stone of narrow fractions is used, since it has a special granulometric composition, unlike typical dense and crushed-mastic asphalt concrete, it has sufficiently large porosity and requires extremely high attention and strict requirements for crushed stone materials. Therefore, an important step for the implementation of a promising construction technology would be the development of recommendations for draining asphalt concrete in Ukraine, which will include technical requirements, recommendations for design and application, acceptance rules and control methods.

Keywords: draining asphalt concrete, draining asphalt concrete mixtures, grain composition, open voids, porosity.

References

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
3. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsf lä chenbefestigungen [in English].
4. Prithvi S. Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: <http://>

driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf
(Last accessed: 07.02.2022) [in English].

5. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

6. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

7. Jian-Shiuh Chen, Chin Hung Yang (2020): Porous asphalt concrete: A review of design, construction, performance and maintenance, *International Journal of Pavement Research and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0039-7> (Last accessed: 3.04.2023) [in English].

8. Anton Zheltobriukh, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov Features design and use of draining asphalt concrete. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 21. P. 168–176 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168> [in Ukrainian].

9. Ivan Kopynets, Anton Zheltobriukh. The results of experiments of the composition of draining asphalt concrete. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2022. Iss. 25. P. 40–47 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040> [in Ukrainian].

10. DSTU EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Bitumomineral'ni sumishi. *Metodyvyprobuvannya. Chastyna 35. Laboratorne zmishuvannya [State Standard of Ukraine (DSTU EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT)) Bituminous mixtures. Test methods. Part 35: Laboratory mixing]*. Kyiv, 2020. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt

12. ASTM D7064/D7064M-08 (2013) Standard Practice for Open – Graded Friction Course (OGFC) Mix Design

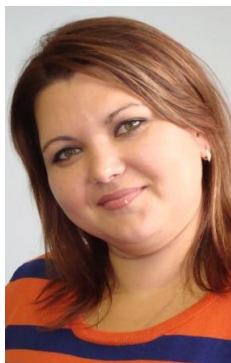
13. ASTM D6932 / D6932M - 08(2013) Standard Guide for Materials and Construction of Open-Graded Friction Course Plant Mixtures.

14. DSTU B V.2.7-127:2015 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton shchebenevo-mastykovi. *Tekhnichni umovy*. Kyiv, 2016. 29 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. R V.2.7-37641918-919:2021 Rekomendatsiyi shchodo vyrobnytstva ta vlashtuvannya drenuyuchoho asfal'tobetonu. Kyiv. 2021. 16 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].

ТЕРМОМЕХАНІЧНА ПОДІБНІСТЬ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ТА ТЕОРЕТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТЕРМОМІЦНОСТІ ДОРОЖНІХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

THERMO-MECHANICAL SIMILARITY IN THE EXPERIMENTAL AND THEORETICAL MODELING OF THE THERMAL RESISTANCE OF ROAD MATERIALS AND STRUCTURES



Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, к. 511, вул. Бойчука 42, Київ, Україна, 01103, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +380975936346,

<https://orcid.org/0000-0003-1040-8870>

Анотація. Експериментальне чи теоретичне моделювання термоміцності дорожніх матеріалів та конструкцій зазвичай пов'язане з заміною вивчення ефекту, що нас цікавить, в натурі (прототипі) аналізом розв'язків відповідних математичних рівнянь або із розглядом аналогічного явища на експериментальній моделі меншого чи більшого масштабу в спеціальних лабораторних чи експериментальних умовах при повному або частковому дотриманні відповідності між фізичними властивостями об'єктів природи та моделі. Основний зміст моделювання полягає в тому, щоб за результатами математичних або експериментальних дослідів можна було робити висновки про поведінку системи в натурних умовах. Як правило, моделювання буває ґрунтоване на розгляді геометрично чи фізично подібних явищ деформування конструкцій. При цьому вважається, що два тіла геометрично подібні, якщо відношення всіх відповідних довжин однакові, тобто, рівні коефіцієнту подібності чи масштабу.

Два явища фізично подібні, якщо за заданими характеристиками одного з них можна визначити характеристики другого з переходом від однієї системи одиниць до іншої. В результаті встановлення системи параметрів, що визначають виділений клас явищ, можна встановити умови подібності двох із них.

Задача визначення умов подібності для дорожніх матеріалів та конструкцій ускладнюється, коли вони експлуатуються в умовах змінних температур, і число параметрів, для яких необхідно обчислювати масштабні коефіцієнти, збільшується. В даній роботі вони визначаються на базі теорії термопружності для геометричних характеристик, параметрів пружності (модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона) та термічних параметрів (коефіцієнта лінійного температурного розширення, коефіцієнта теплопровідності). Умови подібності визначаються для функцій термопереміщення, термонапруження та температури. На конкретних прикладах показано також, що методи теорії подібності можуть бути інструментом для розв'язання прикладних задач.

Ключові слова: теорія подібності, масштабні коефіцієнти, дорожні конструкції, термопружність, термонапруження.

Вступ

При експериментальному та теоретичному моделюванні явищ деформування та міцності дорожніх матеріалів і конструкцій одним із основних факторів є забезпечення чисельної відповідності між деякими характеристиками моделі та прототипу. Для дорожніх матеріалів і конструкцій, які експлуатуються в умовах зміни температур, до таких характеристик можна віднести

функції термонапружень і термодеоформацій, які в значній мірі визначають термоміцність та довговічність цих систем. В загальному випадку, задача забезпечення достатніх умов подібності між моделлю та прототипом пов'язана з визначеними теоретичними труднощами, оскільки потрібно мати справу зі суттєво неоднорідними (композитними) середовищами при їхніх лінійному та нелінійному термодеоформуванні в умовах змінного за часом термо-в'язко-пружного зв'язку між інваріантами тензорів деформацій. Цією обставиною можна пояснити відсутність в науковій літературі публікацій за даним напрямком. Тому, враховуючи, що теорія подібності дозволяє не тільки встановлювати відповідність між експериментальними та теоретичними моделями та прототипом, але й розв'язувати конкретні прикладні задачі, можна зробити висновок про актуальність розробки її основних положень для дорожніх матеріалів та конструкцій.

Перші теоретичні розробки по теорії подібності відносяться до математики. Огляд публікацій за цим напрямком поданий в статті [1]. В біології елементи теорії подібності використовувались для встановлення геометричної відповідності образів біологічних об'єктів [2]. Методи теорії подібності, розроблені в механіці [3,4], використовуються в теорії в'язких рідин, газовій динаміці, теорії турбулентності, астрофізиці й атомній енергетиці. В останні роки теорія подібності стала застосовуватись у нових наукових напрямках, які пов'язані з проблемами комп'ютерного бачення, теорії розпізнавання образів, із обробкою мов, із класифікацією амінокислот [5] та в теорії навчання [6].

До задач моделювання термоміцності дорожніх матеріалів і конструкцій найбільш близьке дотикання мають результати, отримані в теорії подібності термопружних систем [7-9]. Однак їх безпосереднє використання стримується вузькістю їх застосовності лише для однорідних пружних середовищ, які описуються співвідношеннями теорії термопружності [10-12], в той час як дорожні конструкції є суттєво неоднорідними. Встановлення для них масштабних коефіцієнтів за параметрами геометрії, модуля пружності, коефіцієнта Пуассона, коефіцієнта лінійного термічного розширення та коефіцієнта теплопровідності виявилось можливим за допомогою аналітичних розв'язків задач про термодеоформування середовищ, армованих стрижневими та сферичними включеннями, отриманих в НТУ [13-16].

Метою даної роботи є встановлення законів подібності термопружного деформування дорожніх матеріалів та конструкцій із урахуванням термомеханічної неоднорідності їх структур. Її завдання включає визначення масштабних коефіцієнтів та розв'язок за їх допомогою прикладної задачі про розшарування багатошарового дорожнього покриття.

Критерії подібності термопружного деформування однорідних середовищ

Звернемось спочатку до загальних питань подібності. Нехай явище в деякій системі визначається n параметрами, деякі з яких можуть бути безрозмірними. Покладемо, що розмірності визначальних змінних та фізичних постійних виражені з них через розмірності k ($k \leq n$) із незалежними розмірностями. В цьому випадку з n величин можна скласти $n-k$ незалежних безрозмірних комбінацій і всі безрозмірні характеристики явища розглядати як функції цих $n-k$ незалежних безрозмірних комбінацій. Відтак, поміж всіх безрозмірних величин, складених із характеристик явища, завжди можна вказати деяку базисну систему, тобто систему безрозмірних величин, яка визначає собою всі інші. Ця система визначає подібність прототипу та моделі за допомогою наступної умови [3]. Для подібності двох явищ необхідно та достатньо, щоб чисельні значення безрозмірних комбінацій, що утворюють базу, в цих двох явищах були однакові. Умови про постійність бази, складеної з даних величин, називаються критеріями подібності.

Якщо умови подібності виконані, то для фактичного розрахунку всіх характеристик в натурі за даними про розмірні характеристики на моделі необхідно знати перехідні масштаби для всіх відповідних величин. Якщо явище визначається n параметрами, з яких k мають незалежні розмірності, то для величин з незалежними розмірностями перехідні масштаби можуть бути довільними й їх можна задати враховуючи умови задачі, а при експериментах, також враховуючи умови дослідів. Перехідні масштаби для всіх інших розмірних величин легко отримуються з формул,

які виражають розмірності кожної величини через розмірності k величин з незалежними розмірностями, для яких масштаби підказані умовами досліду та постановки задачі.

Основні закони теорії подібності мають братися до уваги також при математичному та експериментальному дослідженні термомеханічного деформування дорожніх та мостових покриттів. В процесі експлуатації їх конструкції піддаються впливу транспортних навантажень і теплових стаціонарних або перехідних збурень. Зазвичай напруження, що викликане механічними навантаженнями, з тією або іншою точністю легко визначаються теоретичними або експериментальними методами. В цих випадках, якщо знайдені і термонапруження, то для лінійного процесу загальні напруження знаходяться методом суперпозиції. При цьому однак, термомеханічні задачі виявляються набагато складнішими чисто механічних задач і їх аналітичні розв'язки вдається отримати тільки в випадках нескладної геометрії та простого термічного збурення. У зв'язку з цим при більш загальних постановках про моделювання термодформування конструкції ці дослідження повинні проводитися із врахуванням законів подібності між прототипом та моделлю.

Звернемось на початку до найбільш простої задачі про визначення масштабних множників для параметрів температури, переміщень, відносних деформацій та напружень при геометричній подібності прототипу та моделі в умовах квазі-статичної зміни температури та деформацій. Покладемо, що при цьому всі механічні та термічні константи системи залишаються незмінними. В якості базових співвідношень теорії термопружності використаємо рівняння Нав'є [10,13] в системі координат $Ox_1x_2x_3$

$$\begin{aligned} \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_1 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_1}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_2 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_2}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_3 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_3}. \end{aligned} \quad (1)$$

які описують деформування прототипу при визначеній геометрії, поле температур $T(x_1, x_2, x_3)$ та заданих крайових умов для переміщень u_1, u_2, u_3 . Тут λ, μ – параметри пружності Ламе, α – коефіцієнт лінійного термічного розширення.

Будемо вивчати термопружне деформування прототипу за допомогою теоретичної або експериментальної моделі, геометрично подібної прототипу з коефіцієнтом подібності l , при умові зберігання крайових умов на відповідних ділянках країв моделі та значенні температури T у відповідних точках. Для аналізу використаємо масштабовану систему координат $O(X_1, X_2, X_3)$, в якій $X_1 = lx_1, X_2 = lx_2, X_3 = lx_3$. В цій системі термопружні переміщення $U_1(X_1, X_2, X_3), U_2(X_1, X_2, X_3), U_3(X_1, X_2, X_3)$ описуються рівняннями

$$\begin{aligned} \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_3^2} \right) U_1 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial X_1} \left(\frac{\partial U_1}{\partial X_1} + \frac{\partial U_2}{\partial X_2} + \frac{\partial U_3}{\partial X_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial X_1}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_3^2} \right) U_2 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial X_2} \left(\frac{\partial U_1}{\partial X_1} + \frac{\partial U_2}{\partial X_2} + \frac{\partial U_3}{\partial X_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial X_2}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial X_3^2} \right) U_3 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial X_3} \left(\frac{\partial U_1}{\partial X_1} + \frac{\partial U_2}{\partial X_2} + \frac{\partial U_3}{\partial X_3} \right) &= (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial X_3}. \end{aligned} \quad (2)$$

В цих рівняннях зробимо заміни $X_1 = lx_1, X_2 = lx_2, X_3 = lx_3$ та помножимо ліві й праві частини на l^2 . В результаті отримаємо систему

$$\begin{aligned} \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) U_1 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} \right) &= l(3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_1}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) U_2 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} \right) &= l(3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_2}; \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) U_3 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} \right) &= l(3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x_3}. \end{aligned} \quad (3)$$

яка повністю еквівалентна системі (2), але відрізняється від системи (1) тільки написаннями шуканих змінних u_1, u_2, u_3 і U_1, U_2, U_3 та множником l в правих частинах системи (3). Звідси випливає

$$\begin{aligned} U_1(X_1, X_2, X_3) &= lu_1(x_1, x_2, x_3), \\ U_2(X_1, X_2, X_3) &= lu_2(x_1, x_2, x_3), \\ U_3(X_1, X_2, X_3) &= lu_3(x_1, x_2, x_3), \end{aligned} \quad (4)$$

тобто переміщення в моделі також геометрично подібні переміщенням в прототипі з масштабним множником l .

При цьому відносні деформації e_{ii}, e_{ij} в моделі рівні

$$\begin{aligned} e_{ii} &= \frac{\partial U_i}{\partial X_i} = \frac{\partial lu_i}{\partial lx_i} = \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \varepsilon_{ii}, \\ e_{ij} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial lu_i}{\partial lx_j} + \frac{\partial lu_j}{\partial lx_i} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = \varepsilon_{ij}. \end{aligned} \quad (5)$$

Як видно, відносні деформації у відповідних точках прототипу та моделі рівні.

Оскільки у виразі для термонапружень в прототипі

$$\sigma_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij} + [\lambda I_1 - (3\lambda + 2\mu)\alpha T] \delta_{ij}, \quad (6)$$

права частина є лінійною комбінацією відносних деформацій в прототипі, що зберігають свої значення в моделі, та доданку з αT , також не змінного в моделі, то термонапруження (6) також співпадають з термонапруженнями S_{ij} у відповідних точках моделі, тобто

$$S_{ij}(X_1, X_2, X_3) = \sigma_{ij}(x_1, x_2, x_3), \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (7)$$

Звернемось тепер до рівняння нестационарної теплопровідності прототипу у формі

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (8)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності.

Нехай вибрана модель геометрично подібна прототипу з масштабним коефіцієнтом l . Визначимо масштабний множник θ в модельному часі τ , з плином якого поле температури $T(X_1, X_2, X_3, \tau)$ в точках моделі співпадають з полем температури $T(x_1, x_2, x_3, t)$ у відповідних точках прототипу при часі $\tau = \theta t$.

Для цього запишемо рівняння (8) у змінних моделі

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial X_3^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau}. \quad (9)$$

Врахуємо, що $X_1 = lx_1, X_2 = lx_2, X_3 = lx_3, X_3 = lx_3, \tau = \theta t$.

Тоді рівняння (9) можна привести до виду

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial X_3^2} = \frac{l^2}{\theta} \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (10)$$

Звідси випливає, що величину θ вибрати рівною,

$$\theta = l^2, \quad (11)$$

то рівняння (10) процесу нестационарної теплопровідності в моделі прийме форму рівняння (8) теплопровідності в прототипі і значення температури у відповідних точках (x_1, x_2, x_3) і (X_1, X_2, X_3) прототипу та моделі у відповідні моменти часу t і τ будуть однакові.

При цьому необхідно відмітити, що в приведених розмірковуваннях припускається, що відповідні умови подібності виконуються і для крайових і для початкових умов задачі. У випадках, коли на краях прототипу задані змінні за часом функції температури $T(x_1, x_2, x_3, t)$ та теплові потоки, то крайові та початкові умови в моделі формулюються елементарно з тими ж коефіцієнтами подібності l і θ . Однак, якщо в прототипі вільні поверхні з умовами конвективного теплообміну або в середині пружного середовища є теплові джерела та стоки, то умови термопружної подібності в цих випадках значно ускладнюються і вони мають розглядатися спеціально. В нашому випадку вони не досліджуються.

В кінці цього підрозділу відмітимо, що наведені умови температурної подібності можуть бути використані не тільки при експериментальному моделюванні явищ термопружного деформування, але також і для пояснення деяких спеціальних термопружних ефектів. Наприклад, при теоретичному аналізі розшарування дорожніх покриттів в крайових зонах, при узагальненні отриманих результатів на неоднорідні макро – та мікрровключення, при експериментальному моделюванні швидко плинних нестационарних термічних процесів і в інших випадках при моделюванні явищ термопружності.

Умови термомеханічної подібності для армованих композитних середовищ

Нехай асфальтобетонне чи цементобетонне середовище армоване стрижнями та температура системи дорівнює T . В роботах [14-16] показано, що додаткові внутрішньоструктурні термонапруження, що викликані несумісністю термомеханічних параметрів фаз системи, локалізуються на її інтерфейсних поверхнях та спадають обернено пропорційно квадрату відстані від елемента, що розглядається, до осі стрижня. Тому для аналізу термдеформування системи можна виділити один стрижень радіуса r_1 та розглядати його плоскодеформований стан в полярній системі координат $Or\varphi$, де r – радіальна координата, φ – колова координата. Для стрижня 1 параметри термопружності складають: модуль пружності E_1 , коефіцієнт Пуассона ν_1 , коефіцієнт лінійного температурного розширення α_1 ; для матриці 2 вони дорівнюють E_2 , ν_2 , α_2 .

Тоді радіальні переміщення $u^{(1)}(r)$ в стрижні 1 і $u^{(2)}(r)$ в матриці 2 рівні

$$\begin{aligned} u^{(1)}(r) &= rT \left(\frac{E_1 \alpha_1}{1-2\nu_1} + E_2 \alpha_2 \right) \left/ \left[\frac{E_1}{(1+\nu_1)(1-2\nu_1)} + \frac{E_2}{(1+\nu_2)} \right] \right. \quad (r \leq r_1), \\ u^{(1)}(r) &= r(1+\nu_1) \alpha_2 T + \frac{r_1^2 T}{r} \left(\frac{\alpha_1}{1+\nu_2} - \frac{\alpha_2}{1+\nu_1} \right) \left/ \left[\frac{1}{1+\nu_1} + \frac{E_2 (1-2\nu_1)}{E_1 (1+\nu_2)} \right] \right. \quad (r \geq r_1). \end{aligned} \quad (12)$$

Відповідні значення радіальних $(\sigma_r^{(1)}(r), \sigma_r^{(2)}(r))$ та колових $(\sigma_\varphi^{(1)}(r), \sigma_\varphi^{(2)}(r))$ термонапружень визначаються рівностями:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)}(r) &= \sigma_\varphi^{(1)}(r) = - \frac{E_1 E_2 [(1+\nu_1) \alpha_1 - (1+\nu_2) \alpha_2] T}{E_1 (1+\nu_2) + E_2 (1+\nu_1)(1-2\nu_2)} \quad (0 \leq r \leq r_1), \\ \sigma_r^{(2)}(r) &= - \frac{r_1^2}{r^2} \frac{E_1 E_2 [(1+\nu_1) \alpha_1 - (1+\nu_2) \alpha_2] T}{E_1 (1+\nu_2) + E_2 (1+\nu_1)(1-2\nu_2)} \quad (r \geq r_1), \\ \sigma_\varphi^{(2)}(r) &= \frac{r_1^2}{r^2} \frac{E_1 E_2 [(1+\nu_1) \alpha_1 - (1+\nu_2) \alpha_2] T}{E_1 (1+\nu_2) + E_2 (1+\nu_1)(1-2\nu_2)} \quad (r \geq r_1). \end{aligned} \quad (13)$$

Рівняння (12), (13) дозволяють встановити умови геометричної подібності. Так, якщо в прототипі з радіальною координатою r і з радіусом r_1 стержня 1 при температурі T радіальні переміщення $u^{(1)}(r)$ та $u^{(2)}(r)$ визначаються рівняннями (12), то в моделі з радіусом стержня 1, що дорівнює R_1 , переміщенням $U^{(1)}(R)$, $U^{(2)}(R)$, у відповідності до (12), рівні

$$\begin{aligned} U^{(1)}(R) &= \frac{R_1}{r_1} u^{(1)}\left(\frac{r_1}{R_1} R\right), \quad (0 \leq R \leq R_1), \\ U^{(2)}(R) &= \frac{R_1}{r_1} u^{(2)}\left(\frac{r_1}{R_1} R\right), \quad (R_1 \leq R). \end{aligned} \quad (14)$$

Тому при таких умовах переміщення в прототипі та моделі геометрично подібні з масштабним множником

$$l = \frac{R_1}{r_1} \quad (15)$$

і замість (14) можна записати

$$U^{(1)}(R) = l u^{(1)}(r), \quad U^{(2)}(R) = l u^{(2)}(r). \quad (16)$$

На відміну від випадку подібності за модулем пружності E для однорідних середовищ, в даному випадку для збереження відповідності між прототипом та моделлю, якщо змінюється модуль пружності однієї з фракцій, то необхідно в такій пропорції змінювати модуль пружності іншої фракції. При цьому, як впливає з (12), (13), їх змінні значення склали

$$e_1 = \varepsilon E_1, \quad e_2 = \varepsilon E_2 \quad (17)$$

то функції переміщень у відповідних точках прототипу та моделі будуть однакові, а щоб отримати напруження в моделі, необхідно напруження в прототипі помножити на масштабний коефіцієнт ε .

Умови подібності за параметрами α_1 і α_2 також мають встановлюватись сумісно. Якщо в моделі їх нові значення рівні

$$A_1 = a \alpha_1, \quad A_2 = a \alpha_2, \quad (18)$$

то значення переміщень і напружень в моделі визначаються множенням їх значень в прототипі на масштабний коефіцієнт a .

Так як температура T в рівняння (12), (13) входить лінійно, то для неї масштабний коефіцієнт дорівнює одиниці. Інакше складається справа з коефіцієнтом Пуассона ν . Для нього масштабний коефіцієнт відсутній.

Встановлені закони термопружної подібності дозволяють зробити важливі висновки про те, що формули (12), (13) прийнятні як для конструкцій, армованих стержнями невеликого радіуса r_1 , так і для композитів, армованих мікроволоконнами, за умови, що матриця та волокна володіють властивостями суцільності та для них справедлива теорія пружності. Крім того, на їх основі можна переходити від прототипів великих розмірів до моделей малих розмірів з дотриманням відповідності між ними.

Теоретичне моделювання ефекту розшарування композитних матеріалів

Використовуючи методи теорії подібності, є можливість пояснення широко відомого ефекту розшарування шаруватих композитів в зоні їх вільного краю [17-20]. В роботах [19,20] відмічається, що це негативне явище все ще залишається проблемою в теорії композитів і одним із способів її пом'якшення є скошування товщини композиту (утворення фаски) на його краю.

Аналогічний ефект виникає в дорожніх та мостових покриттях в результаті різниці коефіцієнтів лінійного температурного розширення покриття 1 та основи 2 (рис.1).

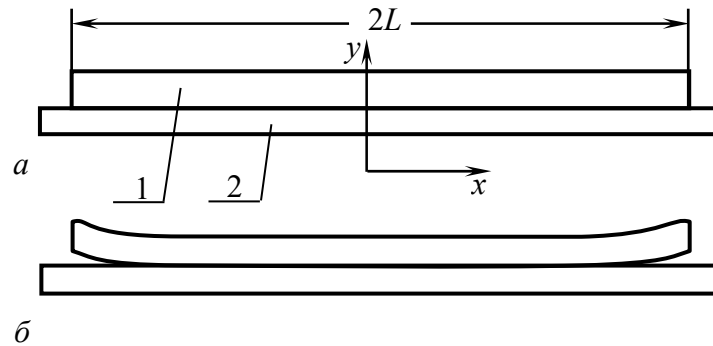


Рисунок 1 – Схема поперечного перерізу асфальтобетонного покриття в вихідному (а) та розшарованому (б) станах.

Figure 1 – Diagram of the cross-section of the asphalt concrete pavement in the initial (a) and layered (b) states

В якості прикладу розглянемо, коли асфальтобетонний шар 1 товщиною $h_1 = 0,07$ м пов'язаний з металевою основою 2 товщиною $h_2 = 0,014$ м. Значення термомеханічних параметрів системи склали: $E_1 = 5 \cdot 10^9$ Па, $\nu_1 = 0,2$, $\alpha_1 = 2,46 \cdot 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$, $E_2 = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu_2 = 0,3$, $\alpha_2 = 1,3 \cdot 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$. Термонапружений стан плоского фрагменту лівого краю цієї системи протяжністю 7,5 м вздовж осі Ox при температурі $T = -25^\circ\text{C}$ було визначено методом скінченного елемента. На рис. 2 виділено поле дотичних напружень τ_{xy} на правій ділянці системи довжиною 0,2 м. Як видно на більшій частині виділеного перерізу дотичні напруження мають майже нульові значення, і тільки поблизу лівого краю системи в її інтерфейсній зоні сформувалась площадка розміром приблизно $1,5\text{ см} \times 2\text{ см}$, в якій ці напруження мають пікові значення, які є основною причиною виникнення пластичних зсувних деформацій між шарами.

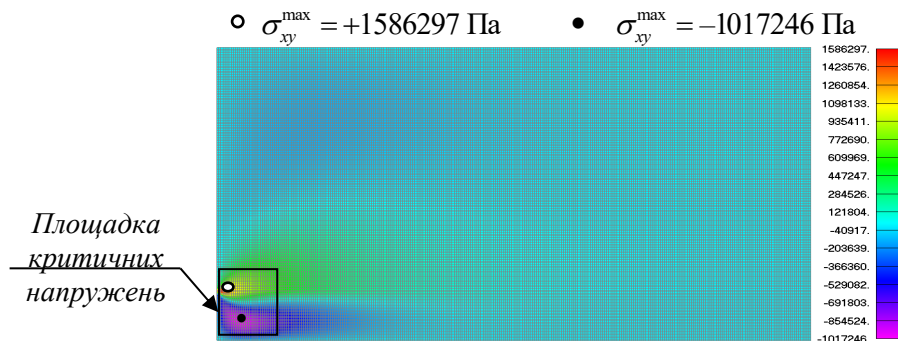


Рисунок 2 – Поле дотичних напружень σ_{xy} в крайовому перерізі двохшарової конструкції

Figure 2 – Field of tangential stresses σ_{xy} in the edge section of a two-layer structure

В цьому випадку, якщо протяжність зони пластичності матеріалу покриття виявляється достатньою для компенсації пластичних деформацій верхнього шару, то система зберігає свою цілісність, якщо ні, то у тому місці виникає відшарування верхнього шару. При цьому необхідно відзначити, що в результаті багатократних змін температури та додаткових дій транспортних навантажень ймовірність виникнення локальних зсувних пошкоджень на цій ділянці зростає.

Підкреслимо також, що спроба запобігання такого ефекту за рахунок збільшення товщини верхнього шару в l раз, призведе також до негативних наслідків, оскільки за умовами геометричної подібності термонапруження у відповідних точках нової моделі збережуть свої (критичні) значення, площадка пластичних деформацій збільшиться в l^2 разів та запасу пластичної плинності матеріалу вже буде недостатньо. І навпаки, до більш позитивного результату приведе зменшення товщини

шару, оскільки, хоча при цьому зсувні напруження у відповідних точках нової моделі не зміняться, площа критичних значень зменшиться в l^2 разів. Однак за умовами експлуатації товщина h_1 верхнього шару на проїзній частині дороги має бути збережена, тому можна рекомендувати її поступове зменшення на крайових ділянках та її доведення до нуля на самих краях (рис.3).

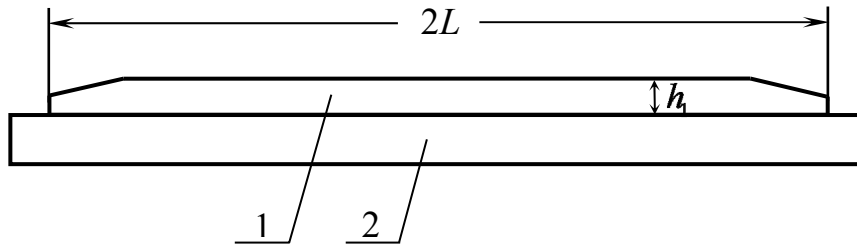


Рисунок 3 – Схема дорожнього покриття зі скошеними краями
Figure 3 – Scheme of a road surface with beveled edges

Тоді розміри площадки критичних напружень на краях обернуться на нуль, а разом із нею зникнуть і самі напруження. Відмічений ефект узгоджується з ефектом усунення явища розшарування шаруватих композитів за рахунок створення на їх краях фасок.

Висновки

1. На базі співвідношень теорії термопружності встановлені умови геометричної та механічної подібності між прототипом і моделлю в дорожніх конструкціях та матеріалах.

2. Знайдені масштабні коефіцієнти для геометричних параметрів, модулів пружності та коефіцієнтів лінійного термічного розширення неоднорідних матеріалів, що забезпечують подібність для функцій переміщень та рівностей функцій термонапружень у відповідних точках прототипу та моделі.

3. За допомогою умов теорії подібності дано пояснення ефекту термічного розшарування дорожнього покриття, запропонований спосіб його недопущення.

Перелік посилань

1. Bluman G., Broadbridge P., King J.R., Ward M.J. Similarity: generalizations, applications and open problems. J. Eng. Math. 2010. 66. pp. 1-9.
2. Walter R. Stahl. Similarity and dimensional methods in biology. Science. 1962. V. 137 (3525). pp. 205-212. Doi:10.1126/science.137.3525.205.
3. Sedov L.I. Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. CRC Press, 1993.
4. Susan G. Sterrett. Similarity and dimensional analysis. Philosophy of Technology and Engineering Sciences. Antonie Meijers, Amsterdam, 2009, pp. 799-823.
5. Yihua Chen, Eric K. Garcia, Maya R. Gupta, Ali Rahimi, Luca Cazzanti. Similarity-based classification: concepts and algorithms. Journal Machine Learning Research. 2009. 10. Pp. 747-776.
6. Balcan M.F., Blum A., Srebro N. A theory of learning with similarity functions. Machine Learning. 2008. 72 (1-2). Pp. 89-112.
7. Dugundii J., Colligeros Y.A. Similarity laws for aerothermoelastic testing. Int. Aero/Space Sci. 1962. V. 29 (8). Pp. 936-950.
8. Green A.E., Radok J.R.M., Rivlin R.S. Thermo-elastic similarity laws. Quarterly of Applied Mathematics 1958. V. 15 (4). Pp. 381-393.
9. Hovanesian J.D., Kowalski H.C. Similarity in thermoelasticity. Experimental Mechanics, February 1967. Pp. 82-84. <https://doi.org/10.1007/BF02326711>.
10. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. Киев, Наукова думка, 1970. 307 с.
11. Hetnarski R.B. and Ignaczak J. Mathematical Theory of Elasticity, Taylor and Francis, New York, 2004.

12. Nowacki W. Thermoelasticity, 2 nd ed. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press. 1986.
13. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Густєлев О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатопшарових дорожніх покриттів. Київ, НТУ, 2018. 252 с.
14. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V., Bilobrytska O.I. Negative thermomechanical effects in granular composites with incompatible thermomechanical parameters of their components. *International Review of Mechanical Engineering*. 2022. 16(4). pp. 188–197. <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i4.21996>.
15. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V. Modelling negative thermomechanical effects in reinforced road structures with thermoelastic incompatibility of coating and reinforcement materials. *System Research and Information Technologies*. 2022. 2. pp.117-127. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.09>
16. Шлюнь Н. В. Особливості термонапруженого стану асфальтобетонного дорожніх покриттів з гумовими включеннями. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 26. С. 124–137.
17. Wang S.S. Edge delamination in angle-ply composite laminates. *AIAA Journal*.1984. 22 (2). Pp. 256-264.
18. Schellekens J.C., Borst De R. Free edge delamination in carbon epoxy laminates: A novel numerical / experimental approach. *Composite Structures*. 1993. V. 28.
19. Lecomte-Grosbras P., Paluch B., Brieu M. Free edge effects study in laminated composites using Digital Image Correlation: effect of material and geometrical singularities. *EPJ Web of Conferences* 6. 20011(2010). <https://doi.org/1021/epjconf/20100620011>.
20. Osama Mohamad Elmardi Sulieman Khayal. A review study of delamination in composite laminated plates. Preprint, April 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12740.07041>.

THERMO-MECHANICAL SIMILARITY IN THE EXPERIMENTAL AND THEORETICAL MODELING OF THE THERMAL RESISTANCE OF ROAD MATERIALS AND STRUCTURES

Shlyun Nataliia V, *Ph.D., Associate Prof., National Transport University, Kyiv, Ukraine*
<https://orcid.org/0000-0003-1040-8870>

Annotation: Experimental or theoretical modeling of the thermal strength of road materials and structures is usually associated with replacing the study of the effect we are interested in nature (prototype) with the analysis of the solutions of the corresponding mathematical equations or with the consideration of a similar phenomenon on a smaller or larger scale experimental model in special laboratory or experimental conditions with full or partial observance of the correspondence between the physical properties of the objects of nature and the model. The main content of modeling is that, based on the results of mathematical or experimental experiments, it is possible to draw conclusions about the behavior of the system in natural conditions. As a rule, modeling is based on consideration of geometrically or physically similar deformation phenomena of structures. At the same time, it is considered that two bodies are geometrically similar, if the ratio of all corresponding lengths is the same, that is, equal to the coefficient of similarity or scale.

Two phenomena are physically similar if the given characteristics of one of them can be used to determine the characteristics of the other with the transition from one system of units to another. As a result of establishing a system of parameters defining a selected class of phenomena, conditions for the similarity of two phenomena can be established.

The task of determining similarity conditions for road materials and structures becomes more complicated when they are operated in conditions of variable temperatures, and the number of parameters for which it is necessary to calculate scale factors increases. In this work, they are determined on the basis of the theory of thermoelasticity for geometric characteristics, elasticity parameters (Young's modulus, Poisson's ratio), thermal parameters (linear thermal expansion coefficient, thermal conductivity coefficient). Similarity conditions are defined for the thermal displacement, thermal stress, and temperature functions. Concrete examples also show that methods of similarity theory can be a tool for solving applied problems.

Key words: similarity theory, scale coefficients, road structures, thermal elasticity, thermal stress.

References

1. Bluman G., Broadbridge P., King J.R., Ward M.J. Similarity: generalizations, applications and open problems. *J. Eng. Math.* 2010. 66. pp. 1-9.
2. Walter R. Stahl. Similarity and dimensional methods in biology. *Science*. 1962. V. 137 (3525). pp. 205-212. <https://doi.org/10.1126/science.137.3525.205>.
3. Sedov L.I. *Similarity and Dimensional Methods in Mechanics*. CRC Press, 1993.
4. Susan G. Sterrett. Similarity and dimensional analysis. *Philosophy of Technology and Engineering Sciences*. Antonie Meijers, Amsterdam, 2009, pp. 799-823.
5. Yihua Chen, Eric K. Garcia, Maya R. Gupta, Ali Rahimi, Luca Cazzanti. Similarity-based classification: concepts and algorithms. *Journal machine Learning Research*. 2009. 10. Pp. 747-776.
6. Balcan M.F., Blum A., Srebro N. A theory of learning with similarity functions. *Machine Learning*. 2008. 72 (1-2). Pp. 89-112.
7. Dugundii J., Colligeros Y.A. Similarity laws for aerothermoelastic testing. *Int. Aero/Space Sci.* 1962. V. 29 (8). Pp. 936-950.
8. Green A.E., Radok J.R.M., Rivlin R.S. Thermo-elastic similarity laws *Quarterly of Applied Mathematics* 1958. V. 15 (4). Pp. 381-393.
9. Hovanesian J.D., Kowalski H.C. Similarity in thermoelasticity. *Experimental Mechanics*, February 1967. Pp. 82-84. <https://doi.org/10.1007/BF02326711>.
10. Kovalenko, A.D. *Osnovy termopruzhnosti [Thermoelasticity fundamentals]*. Kyiv: Naukova Dumka, 1970. 307 s. [in Russian].
11. Hetnarski R.B. and Ignaczak J., *Mathematical Theory of Elasticity*, Taylor and Francis, New York, 2004.
12. Nowacki W. *Thermoelasticity*, 2 nd ed. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press. 1986.
13. Huliaiev V.I., Haidachuk V.V., Mozghovyi V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V., Shliun N.V. Termopruzhnnyi stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv // *Monohrafiia – K. : NTU*, 2018. – 252 s. [in Ukrainian].
14. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V., Bilobrytska O.I. Negative thermomechanical effects in granular composites with incompatible thermomechanical parameters of their components. *International Review of Mechanical Engineering*. 2022. 16(4). pp. 188–197. <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i4.21996>.
15. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V. Modelling negative thermomechanical effects in reinforced road structures with thermoelastic incompatibility of coating and reinforcement materials. *System Research and Information Technologies*. 2022. 2. pp.117-127. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.09>
16. Shliun N. Features of the thermal stressed state of road coatings with rubber inclusions. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2022. Iss. 26. P. 124–137 [in Ukrainian].
17. Wang S.S. Edge delamination in angle-ply composite laminates. *AIAA Journal*. 1984. 22 (2). Pp. 256-264.
18. Schellekens J.C., Borst De R. Free edge delamination in carbon epoxy laminates: A novel numerical / experimental approach. *Composite Structures*. 1993. V. 28.
19. Lecomte-Grosbras P., Paluch B., Brieu M. Free edge effects study in laminated composites using Digital Image Correlation: effect of material and geometrical singularities. *EPJ Web of Conferences* 6. 20011(2010). <https://doi.org/10.1021/epjconf/20100620011>.
20. Osama Mohamad Elmardi Sulieman Khayal. A review study of delamination in composite laminated plates. Preprint, April 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12740.07041>.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОЦІНКИ МАЙНА, ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК
ВОЄННИХ ДІЙ, НА ПРИКЛАДІ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ В СМТ. МАКАРІВ
КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

**STUDY OF THE PECULIARITIES OF THE ASSESSMENT OF PROPERTY DAMAGED AS
A CONSEQUENCE OF MILITARY ACTIONS, ON THE EXAMPLE OF RESIDENTIAL REAL
ESTATE IN MAKARIV VILLAGE OF KYIV REGION**



Давиденко Михайло Олександрович, Національний транспортний університет, студент факультету транспортного будівництва, e-mail: imakiev99@ukr.net, тел. +380955020196

<https://orcid.org/0000-0002-8054-4125>



Козарчук Ігор Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, тел. +380938895646

<http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>



Невінговський Вадим Федорович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: nevnglovskiy@ukr.net, тел. +380995464486

<http://orcid.org/0000-0003-0113-1822>

Анотація. У статті проаналізовано статистику та основні види руйнувань нерухомості внаслідок збройної агресії РФ на прикладі житлових будинків у смт. Макарів Київської області. Досліджено методологію визначення ступенів руйнувань та приблизної оцінки загальних збитків. Наведено ключові положення проекту «Методики визначення шкоди...» Фонду державного майна України. Визначено особливості оцінки нерухомості, пошкодженої в результаті бойових дій, та розроблено рекомендації та пропозиції з удосконалення оціночної процедури в таких умовах. Зроблено висновок про доцільність застосування дронів та градацію на ступені руйнування і розмір об'єкта для попередньої оцінки загальних збитків. Точну ж вартість окремих об'єктів нерухомості слід визначати з використанням витратного підходу на основі вартості заміщення (відтворення).

Ключові слова: оцінка майна, житлова нерухомість, пошкодження, воєнні дії, методика визначення вартості, методичний підхід.

Вступ

За даними KSE Institute в рамках проєкту «Росія заплатить» станом на листопад 2022 року збитки завдані житловому фонду оцінюються в \$52,5 млрд. Наразі частка житлового фонду у загальному обсязі збитків складає 38,6%. Кількість зруйнованих та пошкоджених приватних та багатоквартирних будинків становить 143,8 тис. З них 126,7 тис. – приватних (індивідуальних) будинків; 16,8 тис. – багатоквартирних будинків; майже 0,3 тис. – гуртожитки [6].

У Київській області загальна кількість зруйнованих або пошкоджених об'єктів житлової нерухомості становить понад 26 тисяч об'єктів, зокрема 785 об'єктів (2305 споруд загалом) в Макарові. Збитки, завдані пошкодженням та руйнуванням житлових та присадибних будівель Макарова, оцінюються в \$67 млн. [1].

Тому актуальним є питання оцінки вартості відновлення майна та упущеної вигоди від перешкод ведення господарської діяльності. Сmt. Макарів було однією із найгарячіших точок у Київській області протягом майже місяця, а отже доречним буде розглянути особливості оцінювання зруйнованого майна саме на прикладі цього населеного пункту.

Основна частина дослідження. Інфраструктура Макарова зазнала нищівних втрат, що у кількісній характеристиці зображено на рис. 1-2.

Житлова забудова

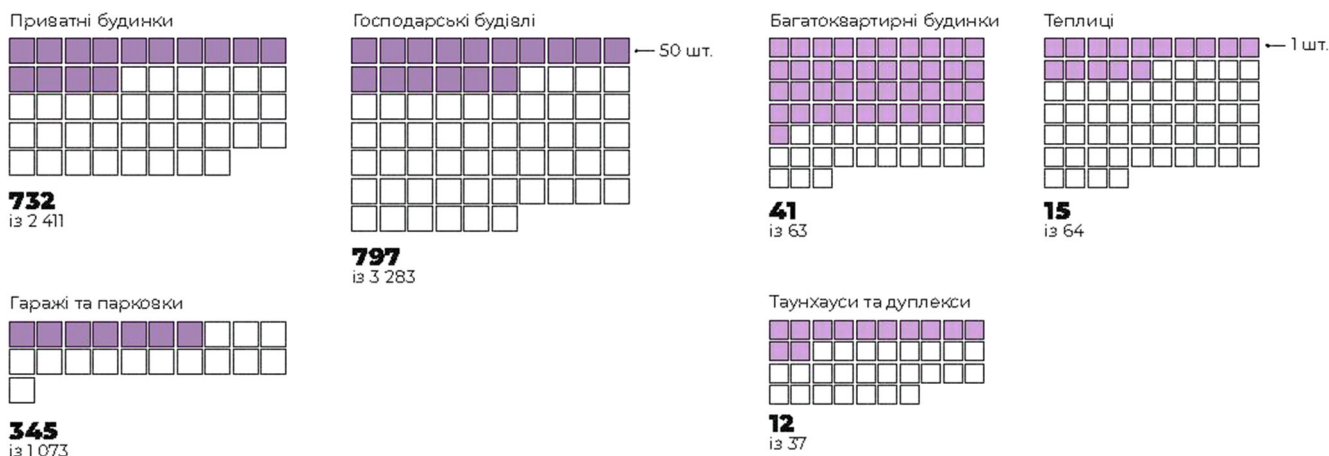


Рисунок 1 – Кількість зруйнованої житлової нерухомості смт. Макарів [2]

Figure 1 – Number of destroyed residential real estate in Makariv village [2]

Як видно з рисунків 1 і 2, ступінь руйнації смт. Макарів досить значний: близько 22% житлових будівель не підлягає відновленню, тобто вартість відновлення даних споруд буде означати те саме, що і побудувати повністю нові споруди.

Розглянемо методологію оцінки пошкодженої нерухомості з використанням зйомки дронами та оцифрування геопросторової інформації для приблизного визначення вартості пошкодженого у великих масштабах майна (як результат воєнних дій) [2].



Рисунок 2 – Ступінь руйнування будівель житлової забудови та сума збитків смт. Макарів [2]

Figure 2 – Degree of destruction of residential buildings and estimated losses in Makariv village [2]

Ступінь руйнування (рис. 2) призначався виходячи за наступних ознак.

1. Повне руйнування – признається у випадках, коли оригінальна структура більше не розрізняється відновлення неможливе, а саме:

- будівля повністю або значною мірою зруйнована (> 50%);
- лише частина будівлі обвалилася до фундаменту.

2. Сильне руйнування – передбачає значні видимі пошкодження будівлі та її структури, до таких відносяться:

- обвалення частини покрівлі;
 - серйозні руйнування та пошкодження стін.
3. Слабке руйнування – передбачає незначні або часткові пошкодження будівлі та її структури:
- легкі ушкодження даху;
 - обвалення димоходів;
 - пошкодження елементів фасаду, декоративних та знімних елементів;
 - притаманна велика кількість сміття та уламків.

4. Ймовірне руйнування – призначається для будівель, інтерпретація яких ускладнена через нижчу якість зображення (наприклад, тінь чи погіршення роздільної здатності через високий кут поза надіром). Серед візуальних ознак можлива наявність невеликої кількості сміття, щебеню чи піску навколо будівлі.

Методологія розрахунків вартості пошкоджених об'єктів базується на наступних припущення:

- 100% вартості будівлі при повному руйнуванні.
- 50% вартості будівлі при сильному руйнуванні.
- 10% вартості будівлі при слабкому руйнуванні.
- 0% вартості будівлі при ймовірному руйнуванні.

Ціна визначалася відповідно до розміру об'єкта:

1. Великі об'єкти – великі підприємства та об'єкти інфраструктури розраховуються індивідуально (на основі фінансової звітності та інших джерел інформації щодо вартості).

2. Середні об'єкти – об'єкти соціальної інфраструктури, торгівлі та сфери послуг (заклади охорони здоров'я, освіти та культури, магазини, готелі та ресторани, тощо) розраховуються на основі середньостатистичних даних вартості з поправкою на тип місцевості.

3. Дрібні об'єкти – житлові будинки, господарчі будівлі, гаражі тощо розраховуються через середньостатистичний метраж (з урахуванням області та типу місцевості) та вартість квадратного метра (номінальна собівартість + вартість косметичного ремонту + вартість демонтажу).

На сьогодні Фондом державного майна України розроблено проєкт «Методики визначення шкоди та обсягу збитків, завданих підприємствам, установам та організаціям усіх форм власності внаслідок знищення та пошкодження їх майна у зв'язку із збройною агресією Російської Федерації, а також упущеної вигоди від неможливості чи перешкод у провадженні господарської діяльності» [5].

Згідно з даною Методикою обчислення залишкової вартості заміщення (відтворення) нерухомого майна до заподіяння шкоди здійснюється із застосуванням формули:

$$V_0^{DRC} = V_L(1 + i) + V_C(1 + i)^{0.5}(1 - d) \quad (1)$$

де V_L – актуальна на дату оцінки вартість ділянки землі;

V_C – вартість заміщення (відтворення) кожної з розташованої на земельній ділянці будівлі (споруди), пов'язаного з нею поліпшення;

i – ставка компаундування, значення якої визначається тривалістю періоду розвитку нерухомості (тривалістю будівництва) h , місяців, і обчислюється на підставі річної ставки компаундування i_A (яка приймається на дату оцінки за даними www.global-rates.com щодо річної ставки LIBOR у доларах США, значення якої збільшено на премію за ризик країни та за ризик, пов'язаний з розвитком нерухомості):

$$i = (1 + i_A)^{\frac{h}{12}} - 1 \quad (2)$$

d – ступінь знецінення будівлі (споруди) чи іншого поліпшення, фізичну застарілість яких усунути неможливо:

$$d = w_{inc} \frac{EA}{NL} \quad (3)$$

де w_{inc} – питома вага (частка) конструктивних елементів з неусувним фізичним зносом, строк корисної служби яких співпадає зі строком фізичного життя будівлі (споруди);

EA – дійсний вік будівлі (споруди) на момент заподіяння шкоди;

NL – строк фізичного життя будівлі чи споруди.

Для наочності можна взяти нерухомість на вулиці Садова Дарницького району м. Києва, внаслідок падіння ракети, у перші дні повномасштабного вторгнення РФ на територію України, дачний будинок був повністю зруйнований, пошкодження зазнав дах, який необхідно замінити на новий, необхідно замінити вікна, також необхідно провести відновлення фасаду будівлі. На момент 2022 року будівлі 15 років, питома вага неусувних складає 15%, строк фізичного життя будівлі було визначено 50-а роками.

У разі пошкодження чи знищення земельних поліпшень нерухомого майна, розмір реальних збитків, заподіяних такому майну, обчислюють за формулою:

$$V_{DAM} = V_C(1 + i)^{0.5}(1 - d)(1 - s) \quad (4)$$

де s – загальний ступінь придатності будівлі (споруди) для подальшого використання:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i \cdot w_i \quad (5)$$

де s_i – ступінь придатності i -го конструктивного елемента будівлі (споруди) для подальшого використання;

w_i – частка (питома вага) i -го конструктивного елемента будівлі (споруди) у вартості заміщення (відтворення).

Виконавши розрахунки відповідно до формули 4, отримаємо:

$$V_{\text{ДАМ}} = 395\,000 \cdot (1 + 0,4)^{0,5} \cdot (1 - 0,15) \cdot (1 - 0,15) = 337\,675 \text{ грн.}$$

де V_C – поліпшення на даній земельній ділянці представлено: водопроводом, місцем для паркування двох автомобілів (заасфальтована ділянка), лазнею, а також одноповерховим дачним будинком на 30 м². Вартість поліпшень було оцінено в 15 000 доларів США, що за курсом від 10 грудня 2022 року становило 395 000 гривень.

Отже, згідно з Методикою серед особливостей оцінці нерухомого майна, пошкодженого у результаті воєнних дій, можна виділити наступні.

1. Розмір збитків внаслідок пошкодження нерухомого майна обчислюється як різниця між вартостями такого майна до та після заподіяння йому шкоди.

2. Вартості нерухомого майна до заподіяння шкоди приймається на рівні ринкової вартості та/або залишкової вартості заміщення аналогічного майна до початку збройної агресії.

3. Для визначення ринкової вартості застосовується адитивна або мультиплікативна модель з відповідним обґрунтуванням обраних елементів порівняння та розміру поправок. Припускається можливість використовувати для порівняння дані аналітичних компаній про середні ціни.

4. При обчисленні вартості заміщення нерухомого майна до заподіяння шкоди враховується актуальна вартість земельної ділянки (визначається шляхом зіставлення продажів), вартість заміщення (включає прямі та непрямі витрати і може бути розподілена за конструктивними елементами будівлі в разі потреби) кожної з розташованих на земельній ділянці будівлі, ставка компаундування (за даними www.global-rates.com щодо річної ставки LIBOR у доларах США, значення якої збільшено на премію за ризик країни та за ризик, пов'язаний із розвитком нерухомості) та ступінь знецінення будівлі чи іншого поліпшення (для елементів з неусувним фізичним зносом).

5. Значення вартості нерухомого майна до заподіяння йому шкоди, отримане на підставі методу залишкової вартості заміщення, узгоджується (за можливістю) з результатом, отриманим за допомогою ринкового порівняння.

Висновки

Можна зробити наступні висновки про проєкт Методики та особливості оцінки нерухомого майна внаслідок бойових дій, насамперед в період воєнного стану.

На нашу думку, прийняття даної Методики дозволить якісніше проводити оцінку майна, оскільки характер воєнних руйнувань, дуже відрізняється від руйнувань під час експлуатації. Зникне прогалина у законодавстві щодо руйнування житла унаслідок військових дій.

До оціночної процедури варто включити пункти (етапи) про:

- Безпечність проведення оцінки. При оцінці об'єктів, особливо тих, які були біля лінії фронту, а тим паче під окупацією, необхідно робити поправки або отримувати довідку від ДСНС або Національної Поліції про «забрудненість місцевості», тобто чи обстежувалась місцевість на наявність мінно-вибухових пристроїв або нерозірваних снарядів, оскільки ця обставина загрожує не лише майну, а й безпосередньо життю оцінювача та замовника.
- Поправку на місце розташування об'єкта (наближеність до лінії фронту). Необхідно ввести поправку на місцерозташування, а саме для прикордонних районів, оскільки у нинішній час спостерігається досить висока вірогідність того, що у цих районах можуть початися активні бойові дії, а при стабілізації ситуації цими поправками можна буде знехтувати.
- Зменшення терміну дії звіту. У мирному житті та при нормальних умовах звіт про оцінку діє не більше 6-ти місяців. Під час воєнних дій необхідно зменшити хоча б до 1-го або 2-х місяців, тому що така оцінка буде точніше відображати стан, в якому знаходиться об'єкт оцінки, оскільки воєнні дії непередбачувані і ситуація може швидко змінитися.

До особливостей процесу оцінки нерухомості, пошкодженої в результаті бойових дій, з огляду на масштаби та характер руйнувань також слід віднести доцільність застосування дронів та градацію на ступені руйнування і розмір об'єкта. Це стосується передусім попередньої приблизної оцінки

загальних збитків. Точну вартість окремих об'єктів доцільно визначати з використанням витратного підходу на основі вартості заміщення (відтворення).

Перелік посилань

1. Збитки інфраструктури села Макарів на Київщині внаслідок війни оцінюються у \$133,5 млн. *KSE*.
URL: tinyurl.com/yfavechb (дата звернення: 02.01.2023).
2. Макарів – Селище, що перебувало на лінії фронту. *RebuildUA*.
URL: rebuildua.net/makariv (дата звернення: 02.01.2023).
3. Пазинич В. І., Свистун Л.А. Оцінка об'єктів нерухомості: навч. пос. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 434 с. ISBN 978-966-364-891-0.
4. Перович Л. М., Губар Ю. П. Оцінка нерухомості: навч. пос. Львів : Видавництво Львівська Політехніка, 2010. 296 с.
5. Проєкт Методики визначення шкоди та обсягу збитків, завданих підприємствам, установам та організаціям усіх форм власності внаслідок знищення та пошкодження їх майна у зв'язку із збройною агресією Російської Федерації, а також упущеної вигоди від неможливості чи перешкод у провадженні господарської діяльності. *Міністерство економіки України*.
URL: tinyurl.com/pf59chdn (дата звернення: 02.01.2023).
6. На листопад 2022 року загальна сума збитків, завдана інфраструктурі України, складає майже \$136 млрд. *KSE*.
URL: tinyurl.com/ms3hp2t9 (дата звернення: 02.01.2023).
7. Національний стандарт № 1 «Загальні засади оцінки майна і майнових прав» : Постанова Кабінету Міністрів України від 10 вересня 2003 р. № 1440.
URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/1440-2003-%D0%BF#Text (дата звернення: 02.01.2023).
8. Національний стандарт № 2 «Оцінка нерухомого майна» : Постанова Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2004 р. № 1442.
9. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/1442-2004-%D0%BF#Text (дата звернення: 02.01.2023).

STUDY OF THE PECULIARITIES OF THE ASSESSMENT OF PROPERTY DAMAGED AS A CONSEQUENCE OF MILITARY ACTIONS, ON THE EXAMPLE OF RESIDENTIAL REAL ESTATE IN MAKARIV VILLAGE OF KYIV REGION

Davydenko Mykhailo O., Master's student, National Transport University, Faculty of Transport Construction, e-mail: imakiev99@ukr.net, tel. +380955020196.

Kozarchuk Ihor A., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, tel. +380938895646, <http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>

Nevinhlovskiy Vadym F., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: nevinglovskiy@ukr.net, tel. +380995464486, <http://orcid.org/0000-0003-0113-1822>

Abstract. The article analyzes statistics and main types of destruction of real estate as a result of the armed aggression of the Russian Federation on the example of residential buildings in Makariv village, Kyiv region. The methodology of determining the degrees of destruction and the approximate assessment of total damages was studied. The key provisions of the draft "Methods for determining damage..." of the State Property Fund of Ukraine are given. The peculiarities of the evaluation of real estate damaged as a result of hostilities were determined. Recommendations and proposals for improving the evaluation procedure in such conditions were developed. A conclusion was drawn on the expediency of using drones and gradation on the degree of destruction and the size of the object for the preliminary assessment of total losses. The exact value

of individual real estate objects should be determined using a cost approach based on the cost of replacement (recreation).

Key words: property valuation, residential real estate, damage, military operations, method of value determination, methodical approach.

References

1. Zbytky infrastruktury sela Makariv na Kyivshchyni vnaslidok viiny otsiniuiutsia u \$133,5 mln. (Damage to the infrastructure of the village of Makariv in the Kyiv region as a result of the war is estimated at \$133.5 million) *KSE*.

URL: tinyurl.com/yfavechb (accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

2. Makariv – selyshche, shcho perebuvalo na linii frontu (Makariv – a village that was on the front line). *RebuildUA*.

URL: rebuildua.net/makariv (accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

3. Pazynych V. I., Svystun L.A. Otsinka ob'ektiv nerukhomosti: navch. pos. (Appraisal of real estate objects: a study guide). Kyiv : Tsentр uchbovoi literatury, 2009. 434 p. ISBN 978-966-364-891-0.

4. Perovych L. M., Hubar Yu. P. Otsinka nerukhomosti: navch. pos. (Appraisal of real estate: a study guide). Lviv : Vydavnytstvo Lvivska Politehnika, 2010. 296 p.

5. Proiekt Metodyky vyznachennia shkody ta obsiahu zbytkiv, zavdanykh pidpriemstvam, ustanovam ta orhanizatsiiam usikh form vlasnosti vnaslidok znyschennia ta poshkodzhennia yikh maina u зв'язku iz zbroinoiu ahresiieiu Rosiiskoi Federatsii, a takozh upushchenoi vyhody vid nemozhlyvosti chy pereshkod u provadzhenni hospodarskoi diialnosti (Draft of Methodology for determining the damage and amount of damages caused to enterprises, institutions and organizations of all forms of ownership as a result of the destruction and damage of their property in connection with the armed aggression of the Russian Federation, as well as lost profits from the impossibility or obstacles in the conduct of economic activity. Ministry of Economy of Ukraine). *Ministry of Economy of Ukraine*.

URL: tinyurl.com/pf59chdn (accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

6. Na lystopad 2022 roku zahalna suma zbytkiv, zavdana infrastrukturi Ukrainy, skladaie maizhe \$136 mlrd. (As of November 2022, the total amount of damage caused to the infrastructure of Ukraine is almost \$136 billion). *KSE*.

URL: tinyurl.com/ms3hp2t9 (accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

7. Natsionalnyi standart № 1 «Zahalni zasady otsinky maina i mainovykh prav» : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10 veresnia 2003 r № 1440 (National standard No. 1 "General principles of valuation of property and property rights" : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1440, September 10, 2003).

URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/1440-2003-%D0%BF#Text (accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

8. Natsionalnyi standart № 2 «Otsinka nerukhomoho maina» : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28 zhovtnia 2004 r № 1442 (National standard No. 2 "Evaluation of real estate" : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1442, October 28, 2004).

9. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/1442-2004-%D0%BF#Text(accessed: 02.01.2023) [in Ukrainian].

ОСОБЛИВОСТІ ВІДВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ПІД ОБ'ЄКТИ
ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИFEATURES OF LAND ALLOCATION FOR TRANSPORT
INFRASTRUCTURE FACILITIES TRENDS

Шарій Григорій Іванович, доктор економічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», директор навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com, тел. +380508850444,

<https://orcid.org/0000-0001-5098-2661>, SCOPUS id 57215911660



Гасенко Ліна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, e-mail: lin02011@meta.ua, тел. +380956632146,

<https://orcid.org/0000-0002-1310-914X>, SCOPUS id 56582136300



Щепак Віра Василівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, e-mail: kanameshch@gmail.com, тел. +380997046708,

<https://orcid.org/0000-0003-2185-1181>, SCOPUS id 57214229254

Анотація. В статті визначено проблеми розвитку транспортної інфраструктури України, її недостатність та неврахування євроінтеграційних процесів і військової агресії. Підкреслено необхідність принципової переорієнтації і реформатування Генеральної схеми планування території України та її конкретизації на рівень областей, районів і громад з урахуванням новітніх геополітичних умов і євроінтеграційних процесів та підвищення стійкості критичної інфраструктури. Визначено правові підходи щодо вдосконалення умов відведення земельних ділянок під об'єкти транспортної інфраструктури. Запропоновано зміни і доповнення до чинного законодавства щодо особливостей відведення земель під об'єкти транспортної інфраструктури.

Запропоновано внести до повноважень Кабінету Міністрів України надання дозволів Службам автомобільних доріг на розроблення проектів землеустрою на відведення земельних ділянок не тільки із земель державної власності, а і комунальної та приватної.

Виявлено необхідність дати визначення охоронної зони автомобільної дороги та визначити її розміри в залежності від категорії та/або значення дороги загального користування, обмежити види діяльності та можливе використання земельних ділянок, які потраплять в межі зазначених охоронних зон, незалежно від права власності, передбачити механізм дій для вже наявних об'єктів в межах охоронних зон.

У Земельному кодексі запропоновано: вилучити із земельного законодавства право постійного користування і замінити на право державної або комунальної власності як повноцінної економічної категорії; розширити повноваження Кабінету міністрів України щодо міни земель з мотивів суспільної необхідності як земель транспорту на державні землі не залежно від форми власності і

категорії; розширити сервітутні обмеження щодо земель в полосі перспективного відведення для земель транспорту: заборонити приватизацію, зміну цільового призначення та іншу забудову; передбачити для земель транспорту виключно міну земельних ділянок на рівноцінній із земель державної та комунальної власності, з метою ліквідації корупційних складових в питаннях відведення земель для будівництва доріг, організації транспортних коридорів та розвитку транспорту.

Ключові слова: євроінтеграція, транспортна інфраструктура, відведення земель, правові норми, землеустрій.

Вступ

Планування транспортної інфраструктури має значний вплив на розвиток міст. Проте фінансування інфраструктурних проєктів є складним завданням, оскільки обмеженість ресурсів та невизначеність результатів інфраструктурних проєктів негативно впливають на процес прийняття інвестиційних рішень у транспортному секторі [1].

У наукових роботах Єлісєєвої А., Артюх Р., Персіянової О. проведено аналіз принципів сталого розвитку транспортної інфраструктури та виокремлено основні з них. Авторами наведено систематизацію цілей і завдань програми розвитку транспортної інфраструктури та розглянуто завдання розвитку логістичної системи в транспортній інфраструктурі України [2].

За результатами досліджень визначено, що землекористування та транспортна інфраструктура формують міста. При цьому ефективна інтегрована транспортна стратегія землекористування впливає на підвищення стійкості міст [3]. Для кількісної оцінки транспортних характеристик зон дорожнього руху авторами розглядається кластеризація на основі доступності для проїзду автомобілем, доступності для велосипедистів та пішохідної доступності. Проведений аналіз показав, що типи землекористування значною мірою залежать від взаємозв'язку землекористування та транспорту.

Житлові райони та комерційні райони переважно зосереджені у швидкодоступних районах; промислова зона та відкритий простір мають достатню доступність для проїзду. При цьому реалізація містобудівних функцій і транспортного будівництва потребують значних земельних потреб, оскільки міська земля є дефіцитним ресурсом і має використовуватися ефективно. Інтеграція землекористування та транспортної інфраструктури є необхідною для планування та управління. Таким чином, взаємозв'язок між землекористуванням та доступністю може дати нове розуміння синергії землекористування та транспортного планування в регіональному масштабі [3].

В сучасних умовах організація процесів євроінтеграції транспортної інфраструктури і, зокрема, дорожньої мережі в Україні потребує особливої уваги. Євроінтеграційні процеси, військова агресія, війна поставили нові виклики до критичної інфраструктури України, особливо транспортної [4].

В Україні нарізла необхідність у перегляді стратегічних аспектів транспортної євроінтеграції та ліквідації транспортних загроз з боку країн-агресорів. Особлива актуальність постає в розбудові підземних комунікацій, енергосистеми, організації транспортної логістики, які будуть стратегічно захищені від атак ворога. Важливою транспортною складовою виступає побудова залізничних шляхів з євроколією, як по існуючих, так і по нових та раніше побудованих, але так і не введених в експлуатацію шляхах.

Сітку автомобільних доріг необхідно інтегрувати з європейськими центрами економічного тяжіння, а також розширити кількість митних терміналів, пунктів перетину кордону відповідно до потреб вантажопотоків, які збільшилися з Європейськими країнами у десятки разів.

Виклад основного матеріалу

Мережа автомобільних державних доріг в Україні становить 169,6 тис. км (0,28 км дороги на 1 км²) та 250 тис. км вулиць поселень, а ще у 1940 році в Україні обліковувалось 270,7 тис. км доріг (10,8% складало тверде покриття).

Щільність автомобільних доріг в Україні нині у 6,6 рази менше ніж у Франції – 1,84 км на 1 км², а швидкісних доріг в Україні лише 280 км, тоді як у Німеччині – 12,5 тис. км, у Франції 7,1 тис. км [5].

Невідповідність транспортної інфраструктури європейським стандартам спонукає Україну до переформатування стратегічних планів і стратегій просторового розвитку територій з визначенням євроінтеграційних та геополітично виважених транспортних коридорів, терміналів, портів і транспортних розв'язок для розбудови водних, автомобільних та залізничних шляхів, аеродромів та трубопровідного транспорту [6].

Розбудова в Україні дорожньої інфраструктури вимагає зміни принципових підходів і переформатування як Схем планування розвитку території України, так і правових інститутів і інституцій, що регулюють земельні відносини, посилення в нормах переваги суспільних інтересів в сфері будівництва і реконструкції доріг і об'єктів транспортної інфраструктури.

Геополітичні, військові та торгово-економічні виклики, які стоять перед Україною, потребують суттєвих змін транспортної інфраструктури не тільки на національному рівні, а і на регіональному [7]. Генеральна схема планування території України, яка визначила концептуальні вирішення планування та використання території України, повинна бути терміново змінена, адже вона узаконила у 2002 році принципово хибну інтеграційну і геополітичну модель [8].

Документація повинна бути принципово новітня і вона створить базисну основу для розроблення містобудівної документації на територію областей, районів і громад, особливо в сфері розбудови дорожньої інфраструктури.

Формування транспортної інфраструктури окремих областей повинно проводитись з врахуванням:

- регіональних центрів економічного тяжіння;
- торгово-економічних вантажопотоків і пасажиропотоків;
- доступності житлових та комерційних районів;
- необхідності перспективного розміщення промислових зон;
- розміщення містоутворюючих підприємств;
- розміщення переробних підприємств сільськогосподарської продукції і транспортної логістики;
- екологічного каркасу місцевості та поселенської мережі;
- поліпшення еколого-ландшафтного потенціалу урбанізованих територій [9].

Схему планування територій слід розробити не тільки для областей, а і для районів, що дозволить формувати державні і комунальні резерви земель (повертаючись до резервного фонду земель запасу) для транспортного будівництва. Необхідні принципово нові підходи до планів зонування територій, транспортних коридорів.

За останні роки змінились центри економічного тяжіння серед поселень. В Україні проведена часткова адміністративно-територіальна реформа. Але дорожня і залізнична мережа залишилась без суттєвих змін. Спостерігається розбалансованість у використанні дорожньої мережі, яка або не використовується або перевантажена.

В більшості, пропускна спроможність доріг в рази нижча від потреб, а якість дорожнього одягу і несуча здатність покриття не відповідає інтенсивності руху.

Транспортні магістралі ріжуть екологічний каркас та населені пункти, не підвищуючи цінність земель і територій, а навпаки, понижуючи оцінні характеристики еколого-ландшафтного потенціалу [10].

В багатьох випадках магістралі трубопроводів, залізниць, автотрас націлені на схід країни, що формує загрози військового вторгнення з боку країн-агресорів, і не спонукає східні території до розвитку.

Генеральна схема планування території України повинна визначити транспортний євроінтеграційний каркас України на законодавчому рівні, а сила закону, підпорядковуючи приватний інтерес і відомчі інтереси суспільним інтересам національної безпеки України, дасть можливість для новітньої розбудови схеми транспортної інфраструктури і на обласному, і на районному, і на локальному рівні територіальних громад. Плани просторового розвитку повинні мати окремі розділи зі схемами транспортних коридорів, перспективних схем розвитку транспортної

інфраструктури з виділенням конкретних резервних територій із суттєвими обмеженнями, спочатку сервітутними на користь транспортних цілей дорожніх управлінь і служб, а потім і особливими відводами земель для земель транспорту включаючи можливість «земельних інвестиційних концесій» для забудовників і інвесторів [11, 12].

Розбудова малих і великих об'їзних шляхів навколо поселень повинна бути обов'язковою нормою для організації просторового планування, генпланів поселень, схем і детальних планів [13].

За результатами дослідження визначено, що особливою умовою вилучення земель для суспільних потреб для цілей дорожнього будівництва повинна стати обов'язкова норма вилучення і перерозподілу земель для дорожнього будівництва виключно шляхом міни земельних ділянок на безоплатній основі і їх резервування та мораторій на приватизацію і зміну цільового призначення.

За відсутності переважаючих правових норм щодо вилучення земель для суспільних потреб державного транспортно-дорожнього будівництва, заходи стратегічного розвитку дорожньої інфраструктури в державі не будуть реалізовані.

З метою інституціонального забезпечення розвитку дорожньої інфраструктури до цілого ряду нормативно-правових актів необхідно внести зміни та доповнення.

Так, необхідно внести до повноважень Кабінету Міністрів України надання дозволів Службам автомобільних доріг на розроблення проектів землеустрою на відведення земельних ділянок не тільки із земель державної власності, а і комунальної та приватної.

Необхідно дати визначення охоронної зони автомобільної дороги та визначити її розміри в залежності від категорії та/або значення дороги загального користування, обмежити види діяльності та можливе використання земельних ділянок, які потраплять в межі зазначених охоронних зон, незалежно від права власності, передбачити механізм дій для вже наявних об'єктів в межах охоронних зон [14].

Реконструкція транспортних коридорів вимагає переосмислення політики і земельно-правових інститутів із планування і землеустрою територій з переважаючим суспільним інтересом і правом щодо розбудови транспортної інфраструктури.

Землі транспорту здебільшого знаходяться в постійному користуванні, а не у власності державних, комунальних підприємств, юридичних осіб. Рішення щодо передачі у постійне користування приймається розпорядженням державних адміністрацій, якими і затверджуються проекти землеустрою щодо відведення земель для служби автомобільних доріг чи інших суб'єктів господарювання на умовах постійного користування. Такий підхід не сприяє розвитку дорожньої інфраструктури.

Авторами запропоновано деякі зміни в правовому забезпеченні користування землями транспорту, а саме у Земельному кодексі [15]:

- щодо статті 92 – необхідно вилучити із земельного законодавства право постійного користування і замінити на право державної або комунальної власності як повноцінної економічної категорії;

- у статті 122, щодо формування земель для дорожнього будівництва, розширити повноваження Кабінету міністрів України щодо міни земель з мотивів суспільної необхідності як земель транспорту на державні землі не залежно від форми власності і категорії;

- у статті 100, щодо встановлення земельних сервітутів, розширити сервітутні обмеження щодо земель в полосі перспективного відведення для земель транспорту: заборонити приватизацію, зміну цільового призначення та іншу забудову;

- у статті 151, яка регулює викуп земельних ділянок для суспільних потреб, передбачити для земель транспорту виключно міну земельних ділянок на рівноцінні із земель державної та комунальної власності, з метою ліквідації корупційних складових в питаннях відведення земель для будівництва доріг, організації транспортних коридорів та розвитку транспорту.

Висновок. Інституціональний розвиток правового забезпечення особливостей відведення земель під об'єкти транспортної інфраструктури, зокрема дорожньої, вимагає суттєвого

вдосконалення і розвитку, особливо щодо дотримування просторового базису для розбудови транспортної інфраструктури.

Тільки переформатування Генеральної схеми планування території України з урахуванням сьогоденних євроінтеграційних та інших геополітичних пріоритетів України сформує необхідні транспортні коридори і дасть підґрунтя для розвитку сітки доріг країни.

Запропоновані пропозиції змін і доповнень до чинного законодавства дадуть можливість сформувати систему ефективного землекористування та розбудувати оптимальну транспортну інфраструктуру в Україні.

Перелік посилань

1. Shuh Liang & Wann-Ming Wey (2013). Resource allocation and uncertainty in transportation infrastructure planning: A study of highway improvement program in Taiwan. *Habitat International*. V. 3, July 2013, p. 128–136.
2. Alina Yelizyeva, Roman Artiukh & Elena Persiyanova (2019). Target and system aspects of the transport infrastructure development program. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. No 3 (9), p. 81–89. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.081
3. Zhongqi Wang, Qi Han, Bauke de Vries (2019). Land Use/Land Cover and Accessibility: Implications of the Correlations for Land Use and Transport Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, p. 923–940.
4. Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 16.03.2022).
5. Енциклопедія сучасної України. Автомобільна дорога. URL: <https://esu.com.ua/article-42453> (дата звернення: 16.03.2022).
6. Стецюк М.П., Іщенко Н.Ф. Стан і перспективи використання земель транспорту в Україні. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 2018. № 1. С. 14 – 24.
7. Іванченко В. О., Загорняк О. В. Стан та перспективи розвитку дорожньої інфраструктури в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України. *Дороги і мости*, 2021. № 1. С. 14–24.
8. Матеріали Генеральної схеми планування території України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diynalnosti/building/city-build/materiali-generalnoyi-shemi-planuvannya-teritoriyi-ukrayini/> (дата звернення: 16.03.2022).
9. Зюзюн В. І., Морозова Т. В., Морозов А. В. Оцінювання впливу на довкілля при будівництві та реконструкції автомобільних доріг. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 26. С. 285–299.
10. Зуб Л.М., Костюшин В.А., Хрутьба В.О., Левіна Г.М., Сумський Є.Д., Пилипович О.В., Костюшин Є.В., Матус С.А., Ямелинець Т.С., Галайко М.Б. Підготовка звіту з оцінки впливу на довкілля при будівництві та реконструкції автодоріг: методичний посібник : Київ, 2019. 108 с.
11. Ejaz Ghani, Arti Grover Goswami, and William R. Kerr. Highways and spatial development. *Economic Premise*, 2013. Number 131. URL: https://www.academia.edu/75781554/Highways_and_Spatial_Development (дата звернення: 16.03.2022).
12. Khanna, Gaurav. The Road Oft Taken: Highways to Spatial Development. *SSRN Electronic Journal*, 2014. 10.2139/ssrn.2426835.
13. Putra, Muhamad Iqbal Januadi & Utami, Nabila. Routing the highway development by using SuperMap Least Cost Path Analysis (LCPA) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) and its assessment toward spatial planning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 561. (2022). 10.1088/1755-1315/561/1/012019.
14. К. Щербаченко. Охоронні зони для автомобільних доріг. Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/blogs/okhoronni_zoni_dlya_avtomobilnikh_dorig_665?fbclid=IwAR2I0PK_GT3YCVAk_mOdcy-mRVQEu5ZUIXbnGmDN_HoMEenzgHhqq-fpPiZA (дата звернення: 16.03.2022).
15. Земельний кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002, № 3-4, ст.27. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5464-10> (дата звернення: 16.03.2022).

FEATURES OF LAND ALLOCATION FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES TRENDS

Shariy Hryhorii I., Doctor of Economics Sciences, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Director of the Educational and Research Institute of Architecture, Civil Engineering and Land Management, e-mail: hariy.grigoriy61@gmail.com, +380508850444, <https://orcid.org/0000-0001-5098-2661>, SCOPUS id 57215911660

Shchepak Vira V., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Associate Professor of Highways, Geodesy and Land Management Department, e-mail: kanameshch@gmail.com, +380997046708, <https://orcid.org/0000-0003-2185-1181>, SCOPUS id 57214229254

Hasenko Lina V., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Associate Professor of Highways, Geodesy and Land Management Department, e-mail: lin02011@meta.ua, +380956632146, <https://orcid.org/0000-0002-1310-914X>, SCOPUS id 56582136300

Summary. The article identifies the problems of Ukraine transport infrastructure development, its inadequacy and failure to take into account European integration processes and military aggression. The need for fundamental reorientation and reformatting of the General Planning Scheme of Ukraine territory and its specification at the level of regions, districts and communities, taking into account the latest geopolitical conditions and European integration processes and increasing the stability of critical infrastructure, is emphasized. Legal approaches to improving the conditions for allocating land plots for transport infrastructure facilities have been determined. Changes and additions to the current legislation regarding the specifics of land allocation for transport infrastructure facilities are proposed.

It is proposed to add to the powers of the Cabinet of Ministers of Ukraine the granting of permits to the Highway Services for the development of land management projects for the allocation of land plots not only from state property, but also from communal and private property.

It was found the necessary to define the protection zone of the highway and to determine its dimensions depending on the category and/or value of the public road, to limit the types of activities and the possible use of land plots that fall within the boundaries of the specified protection zones, regardless of ownership, to provide a mechanism of action for already existing objects within the protection zones.

It is proposed in the Land Code: to remove the right of permanent use from the land legislation and replace it with the right of state or communal property as a full-fledged economic category; to expand the powers of the Cabinet of Ministers of Ukraine regarding the exchange of land on the grounds of public necessity as transport land to state land regardless of the form of ownership and category; to expand easement restrictions on lands in the zone of prospective allocation for transport lands: to prohibit privatization, change of purpose and other construction; to envisage for transport lands only land plots of equivalent value from state and communal lands, with the aim of eliminating corruption components in matters of land allocation for road construction, organization of transport corridors and transport development.

Key words: European integration, transport infrastructure, land allocation, legal norms, land management.

References

1. Shuh Liang & Wann-Ming Wey (2013). Resource allocation and uncertainty in transportation infrastructure planning: A study of highway improvement program in Taiwan. *Habitat International*. V. 3, July 2013, p. 128–136.
2. Alina Yelizyeva, Roman Artiukh & Elena Persiyanova (2019). Target and system aspects of the transport infrastructure development program. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. No 3 (9), p. 81–89. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.081
3. Zhongqi Wang, Qi Han, Bauke de Vries (2019). Land Use/Land Cover and Accessibility: Implications of the Correlations for Land Use and Transport Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, p. 923–940.
4. Uhoda pro Asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (Last accessed: 16.03.2022) [in Ukrainian].
5. Entsyklopediya suchasnoyi Ukrainy. Avtomobil'na doroha. URL: <https://esu.com.ua/article-42453> (Last accessed: 16.03.2022) [in Ukrainian].
6. Stetsyuk M.P., Ishchenko N.F. Stan i perspektyvy vykorystannya zemel' transportu v Ukraini. *Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel'*, 2018. № 1. P. 14 – 24.
7. Ivanchenko V. O., Zahornyak O. V. Stan ta perspektyvy rozvytku dorozhn'oyi infrastruktury v rehionakh, yaki zaznaly nehatyvnoho vplyvu zbroynoho konfliktu na skhodi Ukrainy. *Dorohy i mosty*, 2021. № 1. P. 14–24 [in Ukrainian].
8. Materialy Heneral'noyi skhemy planuvannya terytoriyi Ukrainy. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/building/city-build/materiali-generalnoyi-shemi-planuvannya-teritoriyi-ukrayini/> (Last accessed: 16.03.2022) [in Ukrainian].
9. Zyuzyun V. I., Morozova T. V., Morozov A. V. Otsinyuvannya vplyvu na dovkillya pry budivnytstvi ta rekonstruktsiyi avtomobil'nykh dorih. *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2022. Issue. 26. P. 285 – 299 [in Ukrainian].
10. Zub L.M., Kostyushin V.A., Khrutba V.O., Levina H.M., Sumsnyi E.D., Pylypovich O.V., Kostyushin E.V., Matus S.A., Yamelynets T .S., Galayko M.B. Preparation of the environmental impact assessment report for highway construction and reconstruction: methodical guide: Kyiv, 2019. 108 p [in Ukrainian].
11. Ejaz Ghani, Arti Grover Goswami, and William R. Kerr. Highways and spatial development. *Economic Premise*, 2013. Number 131. URL: https://www.academia.edu/75781554/Highways_and_Spatial_Development (Last accessed: 16.03.2022).
12. Khanna, Gaurav. The Road Oft Taken: Highways to Spatial Development. *SSRN Electronic Journal*, 2014. 10.2139/ssrn.2426835.
13. Putra, Muhamad Iqbal Januadi & Utami, Nabila. Routing the highway development by using SuperMap Least Cost Path Analysis (LCPA) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) and its assessment toward spatial planning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 561. (2022). 10.1088/1755-1315/561/1/012019.
14. K. Shcherbachenko. Okhoronni zony dlya avtomobil'nykh dorih. Tsentr transportnykh stratehiy. URL: https://cfts.org.ua/blogs/okhoronni_zoni_dlya_avtomobilnikh_dorig_665?fbclid=IwAR2I0PK_GT3YCVAk_mOdcy-mRVQEu5ZUIXbnGmDN_HoMEngzHhqq-fpPiZA (Last accessed: 16.03.2022) [in Ukrainian].
15. Zemel'nyy kodeks Ukrainy. Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy (VVR), 2002, № 3-4, st.27. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5464-10> (Last accessed: 16.03.2022) [in Ukrainian].

**АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СУМІСНОЇ РОБОТИ ПРОГОНОВОЇ
БУДОВИ МОСТУ ТА ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ З
УРАХУВАННЯМ ДОВГОТРИВАЛИХ ПРОЦЕСІВ**

**ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE JOINT OPERATION OF THE
SPAN STRUCTURE OF THE BRIDGE AND THE CEMENT-CONCRETE COATING OF THE
CARRIAGEWAY, TAKING INTO ACCOUNT LONG-TERM PROCESSES**



Снитко Валерій Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри “Мости, тунелі та гідротехнічні споруди”, Національний транспортний університет, e-mail: valeriysnytko49@gmail.com, тел. +380677514373, +380442807978, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218.

<https://orcid.org/0009-0003-0325-7899>

Анотація. Вступ. Окреслено постановку проблеми, актуальність обраної теми, проведено аналіз останніх досліджень, окреслено мету та завдання роботи. Врахування впливу усадки та повзучості бетону в наш час є обов'язковою складовою розрахунку конструкцій залізобетонних мостів.

У попередньо напружених конструкціях основну частину втрат попереднього напруження складають втрати, що викликані усадкою і повзучістю бетону. За діючими нормами [1] у попередньо напружених залізобетонних конструкціях мостів втрати від повзучості бетону враховуються лише від дії сил попереднього напруження. В дійсності повзучість бетону має враховуватись і від довготривалої дії першої та другої частини постійного навантаження і усадки бетону. Запропоновано методику визначення напружено-деформованого стану залізобетонної балки прогонової будови мосту з урахуванням довготривалих процесів.

Результати. У викладенні основного матеріалу дослідження запропоновано методику розрахунку напружено-деформованого стану залізобетонної балки прогонової будови мосту з урахуванням усадки та повзучості бетону. Наведено формули, за якими визначається напруження в бетоні та арматурі в довільний момент часу t . Проаналізовано результати дослідження роботи температурно-нерозрізної залізобетонної балки прогонової будови автодорожнього мосту за схемою $3 \times 21,0$ м з урахуванням довготривалих процесів за наведеною методикою.

Висновки. Запропонована методика розрахунку залізобетонної балки прогонової будови мосту з урахуванням усадки та повзучості бетону від дії згинального моменту M і нормальної сили N базується на апараті будівельної механіки пружних систем і може бути використана для розрахунку інших будівельних конструкцій. Дослідження роботи температурно-нерозрізної залізобетонної прогонової будови мосту з i -подібних попередньо-напружених балок за схемою $21,0+21,0+21,0$ м показало, що напруження від повзучості бетону від дії сил попереднього напруження арматури по відношенню до початкових напружень становлять від 23% до 30%. Напруження від усадки бетону по відношенню до допустимих розрахункових значень склали від 2% до 6,5%.

Ключові слова: усадка бетону, повзучість бетону, напруження, згинальний момент, нормальна сила, напружено деформований стан, балка прогонової будови, попереднє напруження

Вступ

Урахування впливу усадки та повзучості бетону в наш час є обов'язковою складовою розрахунку конструкцій залізобетонних мостів. У попередньо напружених конструкціях основну частину втрат попереднього напруження складають втрати, що викликані усадкою і повзучістю бетону. За діючими нормами [1] у попередньо напружених залізобетонних конструкціях мостів втрати від повзучості бетону враховуються лише від дії сил попереднього напруження. В дійсності повзучість бетону має враховуватись і від довготривалої дії першої та другої частини постійного навантаження і усадки бетону. Саме це й було мотивацією для пропонування методики визначення напружено-деформованого стану залізобетонної балки прогонової будови мосту з урахуванням довготривалих процесів.

Мета і методи. Метою дослідження було надати методику розрахунку напружено-деформованого стану залізобетонної балки з урахуванням усадки і повзучості бетону, проаналізувати результати розрахунку температурно-нерозрізної залізобетонної прогонової будови мосту за схемою 3x21,0 м за наведеною далі методикою

Результати і пояснення. Наведемо методику розрахунку прогонової будови мосту на дію згинального моменту M і нормальної сили N з урахуванням усадки і повзучості бетону.

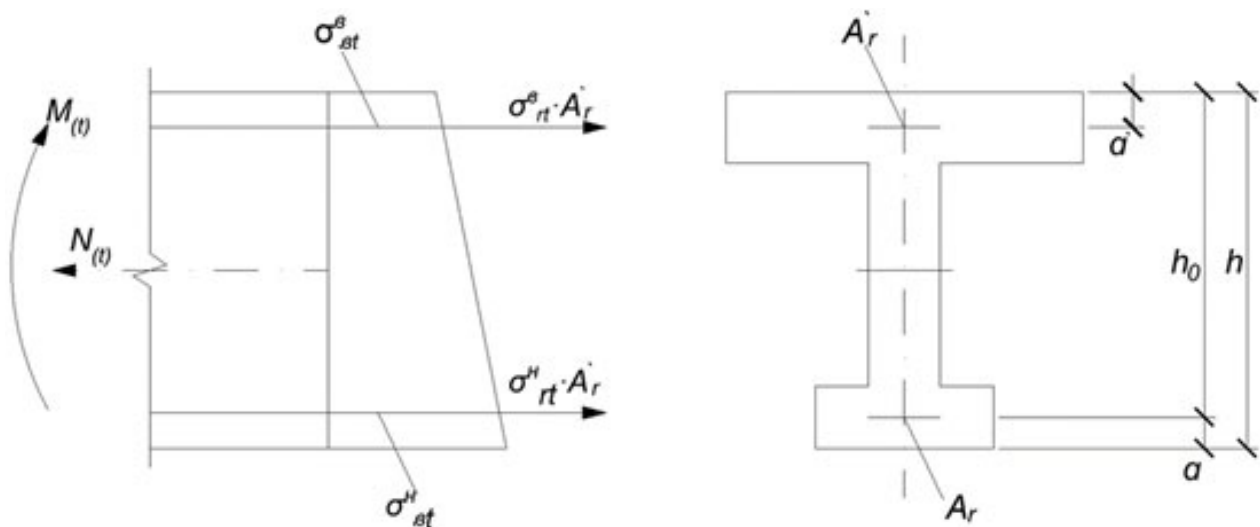


Рисунок 1 - Напруження і зусилля у поперечному перерізі залізобетонної балки

Figure 1 - Stresses and forces in the cross section of a reinforced concrete beam

Розглянемо залізобетонну балку прогонової будови мосту, що має верхню і нижню арматуру (рисуюнок 1).

У кожному перерізі діють постійні у часі згинальний момент M і нормальна сила N , що прикладена в центрі ваги бетонного перерізу. Переріз довільний, але має одну ось симетрії.

Необхідно визначити напруження у бетоні та в арматурі у довільний момент часу t . Приймаємо лінійний закон розподілення напруження у бетоні по висоті перерізу. Невідомими вважаємо напруження у бетоні на рівнях центрів тяжіння верхньої і нижньої арматури σ_{bt}^B і σ_{bt}^H і напруження в арматурі у тих же точках σ_{rt}^B ; σ_{rt}^H . Окремо визначаємо напруження від моменту M і нормальної сили N .

Напруження, що виникають від моменту M .

Усього невідомих напружень чотири (σ_{bt}^B ; σ_{bt}^H ; σ_{rt}^B ; σ_{rt}^H). Вважаємо, що всі вони додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо чотири рівняння: рівняння проєкцій діючих зусиль на вісь балки, рівняння моментів діючих зусиль відносно центру ваги розтягнутої арматури і два рівняння сумісності деформацій бетону і арматури.

Напруження в кожній точці перерізу, що знаходиться на відстані Z від центру ваги нижньої арматури σ_{bt}^Z , через σ_{bt}^B і σ_{bt}^H можна записати:

$$\sigma_{bt}^Z = \sigma_{bt}^B \cdot \frac{Z}{h_0 - a} + \sigma_{bt}^H \cdot \frac{h_0 - a - Z}{h_0 - a} \quad (1)$$

Переходимо до складання рівнянь:

1) рівняння проєкцій ($\Sigma X=0$)

$$\int_A \sigma_{bt}^Z \cdot dA + \sigma_{rt}^H \cdot A_r + \sigma_{rt}^B \cdot A_r = 0 \quad (2)$$

2) рівняння моментів ($\Sigma M=0$)

$$\int_A \sigma_{bt}^Z \cdot Z \cdot dA + \sigma_{rt}^B \cdot A_r \cdot (h_0 - a) + M = 0 \quad (3)$$

3) рівняння спільності деформацій нижньої арматури і бетону:

$$\frac{\sigma_{rt}^H}{E_r} = \varepsilon_{bt}^H$$

де ε_{bt}^H – повна відносна деформація бетону на рівні центра ваги нижньої арматури у момент часу t ;

E_r – модуль пружності арматури.

На основні модифікованої теорії старіння [2,3] маємо:

$$\frac{\sigma_{rt}^H}{E_r} = \frac{1}{E_b} \cdot (\sigma_{bo}^H \cdot K_1 + \sigma_{bt}^H \cdot K_2) \quad (4)$$

Тобто

$$\sigma_{rt}^H = n \cdot (\sigma_{bo}^H \cdot K_1 + \sigma_{bt}^H \cdot K_2),$$

де n – відношення модуля пружності арматури E_r , до початкового модуля пружності бетону E_b ; K_1 і K_2 – коефіцієнти, що визначаються за формулами :

$$K_1 = (1 - \alpha + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2}$$

$$K_2 = 1 + (1 + \alpha - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2},$$

де $\alpha = 0,5$, $k_0 = 0,09$ – коефіцієнти;

φ_t – граничне значення характеристики повзучості бетону.

4) рівняння спільності деформацій верхньої арматури і бетону по аналогії з формулою (4)

$$\sigma_{rt}^B = n \cdot (\sigma_{bo}^B \cdot K_1 + \sigma_{bt}^B \cdot K_2) \quad (5)$$

Підставляючи у рівняння (2) і (3) замість σ_{bt}^Z його значення із (1) замість σ_{rt}^H і σ_{rt}^B , їх значення з рівнянь (4) і (5), отримуємо два рівняння з двома

невідомими σ_{bt}^B і σ_{bt}^H і в кінцевому вигляді після алгебраїзації вони мають такий вигляд

$$\beta \cdot \sigma_{bt}^B + \gamma \cdot \sigma_{bt}^H + \delta \cdot M = 0 \quad (6)$$

$$c_1 \cdot \sigma_{bt}^B + c_2 \cdot \sigma_{bt}^H + c_3 \cdot M = 0 \quad (7)$$

де

$$\beta = \frac{S}{A} + n \cdot (h_0 - a) \cdot K_2 \cdot \mu' \quad (8)$$

$$- \left[\frac{S}{A} - (h_0 - a) \cdot (n \cdot K_2 \cdot \mu + 1) \right] = \gamma \quad (9)$$

$$n \cdot (h_0 - a) \cdot K_1 \cdot (\eta^H \cdot \mu + \eta^B \cdot \mu') = \delta \quad (10)$$

$$\frac{I}{A} + (h_0 - a)^2 \cdot n \cdot \mu' \cdot K_2 = c_1 \quad (11)$$

$$- \left[\frac{I}{A} + (h_0 - a) \cdot \frac{S}{A} \right] = c_2 \quad (12)$$

$$(h_0 - a) \cdot \left[(h_0 - a) \cdot n \cdot K_1 \cdot \eta^B \cdot \mu' + \frac{1}{A} \right] = c_3 \quad (13)$$

Тут $S = \int_A Z \cdot dA$ – статичний момент бетонного перерізу відносно осі, що проходить через центр тяжіння нижньої арматури; $I = \int_A Z^2 \cdot dA$ – момент інерції бетонного перерізу відносно цієї ж осі, A – площа бетонного перерізу; $\mu' = \frac{A_r}{A}$ і $\mu = \frac{A_r}{A}$ – коефіцієнти армування.

Початкові напруження у бетоні визначаються за формулами:

$$\sigma_{bo}^H = \frac{M \cdot Z_{B.П.}^H}{I_{B.П.}} = \eta^H \cdot M \quad (14)$$

$$\sigma_{bo}^B = \frac{M \cdot Z_{B.П.}^B}{I_{B.П.}} = \eta^B \cdot M, \quad (15)$$

де $I_{B.П.}$ – момент інерції приведенного перерізу відносно центра ваги приведенного перерізу;
 $Z_{B.П.}^H$ і $Z_{B.П.}^B$ – відстані від центру ваги приведенного перерізу відповідно до центрів ваги нижньої і верхньої арматури.

Напруження у бетоні на момент часу t .

$$\sigma_{bt}^B = \eta_t^B \cdot M \quad (16)$$

$$\sigma_{bt}^H = \eta_t^H \cdot M \quad (17)$$

Напруження в арматурі на момент часу t :

$$\sigma_{rt}^B = n \cdot (\eta_t^B \cdot K_1 + \eta_t^B \cdot K_2) \cdot M \quad (18)$$

$$\sigma_{rt}^H = n \cdot (\eta_t^H \cdot K_1 + \eta_t^H \cdot K_2) \cdot M, \quad (19)$$

де

$$\eta_t^B = \frac{\gamma \cdot c_3 - \delta \cdot c_2}{\beta \cdot c_2 - \gamma \cdot c_1} \quad (20)$$

$$\eta_t^H = \frac{\delta \cdot c_1 - \beta \cdot c_3}{\beta \cdot c_2 - \gamma \cdot c_1}. \quad (21)$$

Напруження, що виникають від нормальної сили N

У цьому випадку рівняння рівноваги будуть:

$$1) \int_A \sigma_{bt}^Z \cdot dA + \sigma_{rt}^H \cdot A_r + \sigma_{rt}^B \cdot A_r - N = 0 \quad (22)$$

$$2) \int_A \sigma_{bt}^Z \cdot dA + \sigma_{zt}^B \cdot A_r \cdot (h_0 - a) - N \cdot Z_B^H = 0 \quad (23)$$

Де ексцентриситет Z_B^H сили N – відстань від центру ваги приведенного перерізу до центру ваги нижньої арматури.

Таким чином, рівняння рівноваги для випадку дії сили N відрізняють від рівнянь на випадок дії моменту M тільки вільними чинами. Рівняння спільності деформацій такі ж самі.

Рівняння (22) і (23) можуть бути записані так:

$$\beta \cdot \sigma_{bt}^B + \gamma \cdot \sigma_{bt}^H + \Delta \cdot N = 0 \quad (24)$$

$$c_1 \cdot \sigma_{bt}^B + c_2 \cdot \sigma_{bt}^H + c_4 \cdot N = 0 \quad (25)$$

де

$$\Delta = (h_0 - a) \cdot \left[n \cdot k_1 \cdot (\Psi^B \cdot \mu - \Psi^H \cdot \mu) - \frac{1}{A} \right] \quad (26)$$

$$c_4 = (h_0 - a) \cdot \left[(h_0 - a) \cdot n \cdot k_1 \cdot \Psi^B \cdot \mu - \frac{Z_B^H}{A} \right] \quad (27)$$

$$\text{тут } \Psi^B = \Psi^H = \frac{1}{A_{B.П.}}, \quad (28)$$

де $A_{B.П.}$ – площа приведенного перерізу H напруження в бетоні від дії сили N .

$$\sigma_{bt}^B = \Psi_t^B \cdot N \quad (29)$$

$$\sigma_{bt}^H = \Psi_t^H \cdot N. \quad (30)$$

Напруження в арматурі від дії сили N

$$\sigma_{rt}^B = n \cdot (\Psi_t^B \cdot K_1 + \Psi_t^B \cdot K_2) \cdot N \quad (31)$$

$$\sigma_{rt}^H = n \cdot (\Psi_t^H \cdot K_1 + \Psi_t^H \cdot K_2) \cdot N, \quad (32)$$

де

$$\psi_t^B = \frac{\gamma \cdot C_4 - \Delta \cdot C_2}{\beta \cdot C_2 - \gamma \cdot C_1} \quad (33)$$

$$\psi_t^H = \frac{\Delta \cdot C_1 - \beta \cdot C_4}{\beta \cdot C_2 - \gamma \cdot C_1} \quad (34)$$

Визначення напружень від дії усадки бетону

Розглядаємо залізобетонну балку прогонової будови мосту. Силкові фактори M і N відсутні, враховуємо дію усадки бетону, що характеризується відносною деформацією ε_{yt}

В залізобетонній балці усадка бетону стримується арматурою. В результаті і в арматурі і у бетоні виникають урівноважені зусилля.

Рівняння рівноваги

$$1) \sum X = 0; \quad \int_A \sigma_{b,yt}^Z \cdot dA + \sigma_{z,yt}^H \cdot A_r + \sigma_{r,yt}^B \cdot A_r = 0 \quad (35)$$

$$2) \sum M = 0; \quad (\text{відносно центру ваги нижньої арматури})$$

$$\int_A \sigma_{b,yt}^Z \cdot Z \cdot dA + \sigma_{z,yt}^H \cdot A_r \cdot (h_0 - a') = 0 \quad (36)$$

Рівняння спільності деформацій записуємо зважаючи на те, що алгебраїчна сума відносної деформації усадки бетону ε_{yt} , що викликають усадкові напруження, дорівнюють відносній $\varepsilon_{b,yt}$ деформації арматури:

$$\varepsilon_{yt} + \varepsilon_{b,yt} = \varepsilon_{r,yt} \quad (37)$$

У початковий момент часу $t=0$, від якого починаються відлік усадки, напруження не виникають, тому :

$$\varepsilon_{yt} + \int_0^t \frac{d\sigma_{b,yt}}{d\tau} \cdot \left(\frac{1}{E_r} + C_{tr} \right) d\tau = \frac{\sigma_{r,yt}}{E_r} \quad (38)$$

Затсосовуючи модифіковану теорію старіння бетону і враховуючи що $\sigma_{b,yt} = 0$, запишемо

$$\varepsilon_{e,yt} = \frac{\sigma_{e,yt} \cdot K_2}{E_e} \quad (39)$$

Тоді рівняння спільності деформацій арматури і бетону будуть:

$$\sigma_{r,yt}^e = E_r \varepsilon_{yt} + n \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^e; \quad (40)$$

$$\sigma_{r,yt}^H = E_r \varepsilon_{yt} + n \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^H. \quad (41)$$

Підставляючи вирази з рівнянь (40) і (41) до рівнянь рівноваги (35) і (36) замінюючи σ_{bt}^Z на значення за формулою (1) отримуємо:

$$\beta \cdot \sigma_{e,yt}^e + \gamma \cdot \sigma_{e,yt}^H + E_r \varepsilon_{yt} (h_0 - a') \cdot (\mu + \mu') = 0; \quad (42)$$

$$c_1 \beta \cdot \sigma_{e,yt}^e + c_2 \cdot \sigma_{e,yt}^H + E_r \varepsilon_{yt} (h_0 - a')^2 \cdot \mu' = 0, \quad (43)$$

де ε_{yt} - це деформація усадки бетону, приймається зі знаком «-»; значення β , γ , c_1 і c_2 визначають за формулами, наведеними вище.

Тоді напруження в бетоні визначаємо за формулами:

$$\sigma_{b,yt}^H = \eta_{yt}^e \cdot \varepsilon_{yt} \cdot E_r; \quad (44)$$

$$\sigma_{b,yt}^H = \eta_{yt}^H \cdot \varepsilon_{yt} \cdot E_r; \quad (45)$$

де

$$\eta_{yt}^e = \frac{\gamma(h_0 - a_1)^2 \cdot \mu' - (h_0 - a')(\mu + \mu')c_2}{\beta \cdot c_2 - \gamma \cdot c_1}, \quad (46)$$

$$\eta_{yt}^n = \frac{c_1(h_0 - a_1) \cdot (\mu + \mu') - \beta(h_0 - a')^2 \mu'}{\beta \cdot c_2 - \gamma \cdot c_1} \quad (47)$$

Напруження в арматурі визначаються за формулами (40) і (41).

Для попередньо напруженої арматури значення будуть складати втрати попереднього напруження від усадки бетону.

Напруження у бетоні попередньо напруженої балки, що визначені за формулами (44) і (45) будуть сумарними від самої усадки і викликаних нею втрат напруження в арматурі.

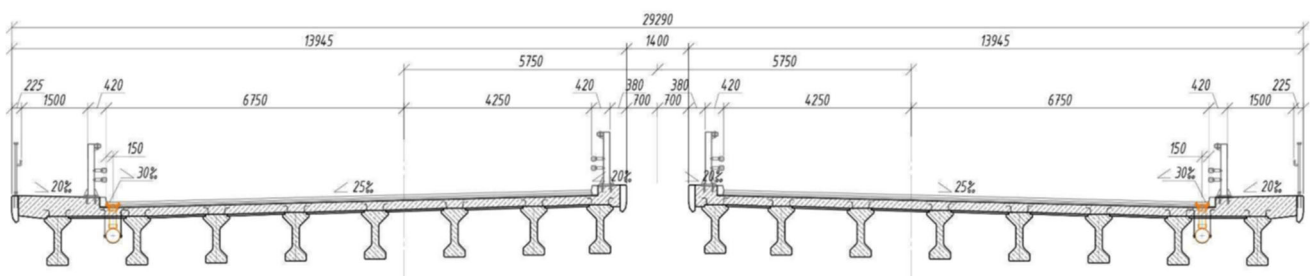


Рисунок 2 – Поперечний переріз прогонової будови моста

Figure 2 – Cross-section span structure of the bridge

Розглянуто температурно-нерозрізну прогонову будову моста за схемою 21,0+21,0+21,0 м, габаритом 2*(Г-11,0+1,5) м.

Довжина одного прогону моста 21,0 м. Він складається з 8 “Г”-подібних попередньо напружених залізобетонних балок і монолітної плити проїзної частини.

У поперечнику мосту відстань в осях між сусідніми балками 1,8 м і між двома крайніми, з однієї сторони габариту - 1,5 м. Збірні балки заввишки 1,1 м.

Товщина монолітного шару бетону плити проїзної частини над балками 20 см і цементобетонного покриття, що включається у роботу разом із збірно-монолітними балками прогонової будови, 10 см.

Збірна балка в середині прогону армована 12 арматурними пучками 3хК7 і 4 пучками К7 із дротів високоміцної сталі діаметром 5 мм, загальною площею $A_p = 54,93 \text{ см}^2$. Площа одного пучка 3хК7 із 21 дрота діаметром 5 мм складає $f = 4,12 \text{ см}^2$. Модуль пружності арматури $E_s = 1,7 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$. Розрахунковий опір високоміцної арматури $R_p = 1055 \text{ МПа}$. Бетон класу В-40, W14, F300 з $R_b = 20 \text{ МПа}$;

$R_{bt} = 1,25 \text{ МПа}$.

Граничне значення характеристики повзучості бетону прийнято $\phi_t = 2,15$.

Відносна деформація усадки бетону прийнята $\epsilon_{yt} = 2,88 \cdot 10^{-4}$.

Рівнодіюча зусиль попереднього напруження арматури з урахуванням перших втрат склала $N_0' = -4923,9 \text{ кН}$.

Згинальний момент від зусиль попереднього напруження $M_0' = -2329 \text{ кН*м}$.

Нормативний згинальний момент у середині прольоту балки від ваги збірно-монолітної балки склав $1062,25 \text{ кН*м}$.

Розрахункові максимальні зусилля у середині прольоту балки виявилися більшими від навантаження АК+натовп+постійне і склали від моменту і поперечної сили відповідно:

$$M_p = 3538,26 \text{ кН*м}; Q_p = 847,76 \text{ кН}.$$

Виконано розрахунок прогонової будови мосту з урахуванням повзучості та усадки бетону за наведеною вище методикою.

Сумарні втрати попереднього напруження в арматурі від повзучості бетону від сил попереднього напруження і ваги збірно-монолітної балки склали 147,6 МПа.

Втрати попереднього напруження в арматурі від усадки бетону склали 33,3 МПа.

У попередньому відношенні частин напружень від повзучості бетону від дії сил попереднього напруження арматури з урахуванням перших втрат по відношенню до початкових напружень склали:

- у бетоні на рівні верхньої фібри балки:

$$\frac{\sigma_{\epsilon 0}^{\epsilon} - \sigma_{\epsilon t}^{\epsilon}}{\sigma_{\epsilon 0}^{\epsilon}} \cdot 100\% = \frac{2,57}{8,57} 100\% = 30\%;$$

- у бетоні на рівні центру ваги попередньо напруженої арматури:

$$\frac{\sigma_{\epsilon 0}^H - \sigma_{\epsilon t}^H}{\sigma_{\epsilon n}^H} \cdot 100\% = \frac{9,46}{31,5} 100\% = 30\%;$$

- у попередньо напруженій арматурі на рівні її центру ваги:

$$\frac{\sigma_{p0} - \sigma_{pt}}{R_p - \sigma_n'} \cdot 100\% = \frac{203,5}{1055,0 - 158,6} 100\% \approx 23\%.$$

Напруження від усадки бетону склали:

- у бетоні на рівні верхньої фібри балки:

$$\sigma_{yt}^B \approx -0,36 \text{ МПа (стиск)};$$

- у бетоні на рівні центру ваги попередньо напруженої арматури:

$$\sigma_{b,yt}^H \approx 1,34 \text{ МПа (розтяг)};$$

- у попередньо напруженій арматурі на рівні центру її ваги:

$$\sigma_{a,yt} \approx -33,3 \text{ МПа (стиск)}.$$

Висновки

Запропонована методика розрахунку напруженого стану залізобетонної балки прогонової будови мосту з урахуванням повзучості та усадки бетону від згинального моменту M і нормальної сили N базується на апараті будівельної механіки пружних систем і може бути використана для розрахунку інших будівельних конструкцій.

Дослідження роботи температурно-нерозрізної залізобетонної прогонової будови мосту з i -подібних попередньо-напружених балок за схемою 21,0+21,0+21,0 м показало, що напруження від повзучості бетону від дії сил попереднього напруження арматури по відношенню до початкових напружень становлять від 23% до 30%. Напруження від усадки бетону по відношенню до допустимих розрахункових значень склали від 2% до 6,5%. Все це вказує на необхідність їхнього врахування при роботі, конструкції. При врахуванні робочого шару цементобетонного покриття проїзної частини моста завтовшки 8 см у роботі разом із збірно-монолітними перерізом балки, при одному і тому ж самому армуванні несна здатність балки збільшується на 7,5%.

Перелік посилань

- 1 ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування». Мінрегіон України, К.: 2006;
- 2 Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів. Навч. посібник. – К.: НТУ, 2005 с.118.
- 3 Розрахунки і проектування мостів. Том 1. /Під ред. А.І.Лантуха-Ляценка/ - К.: НТУ, 2007 с.336.

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE JOINT OPERATION OF THE SPAN STRUCTURE OF THE BRIDGE AND THE CEMENT-CONCRETE COATING OF THE CARRIAGEWAY, TAKING INTO ACCOUNT LONG-TERM PROCESSES

Snytko Valerii P. Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: valeriysnytko@ukr.net, тел. +380442807978, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1. <https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

Abstract. Introduction. The statement of the problem, the relevance of the chosen topic, an analysis of the latest research, and the purpose and tasks of the work are outlined. Taking into account the effect of shrinkage and creep of concrete nowadays is a mandatory component calculation of reinforced concrete bridge structures.

In prestressed structures, the main part prestressing losses are losses caused by shrinkage and creep of concrete. According to the current norms [1], in prestressed reinforced concrete structures of bridges, losses from concrete creep are taken into account only from the action of prestressing forces. In fact, the creep of concrete should be taken into account from the long-term action of the first and second part of the constant load and shrinkage of concrete. A methodology for determining the stress-strain state of a reinforced concrete beam of a span structure of a bridge, taking into account long-term processes, is proposed.

The results. In the presentation main material of the study, a methodology for calculating the stress-strain state reinforced concrete beam span structure of the bridge is proposed, taking into account the shrinkage and creep of concrete. The formulas used to determine the stress in concrete and reinforcement at an arbitrary moment of time t are given. The results study operation temperature-unbroken reinforced concrete beam span structure of the road bridge according to the scheme 3x21.0 m, taking into account the long-term processes according to the given methodology, were analyzed.

Conclusions. The proposed method of calculating the reinforced concrete beam span structure of the bridge taking into account the shrinkage and creep of concrete under the action of the bending moment M and the normal force N is based on the apparatus construction mechanics of elastic systems and can be used for the calculation of other building structures. The study work temperature-unbroken reinforced concrete span structure of the bridge made of i -like prestressed beams according to the 21.0+21.0+21.0 m scheme showed that the stress from the creep concrete from the action prestressing forces of the reinforcement in relation to the initial stresses are from 23% to 30%. The stress from concrete shrinkage in relation to the allowable calculated values was from 2% to 6.5%.

Key words: shrinkage concrete, creep concrete, stress, bending moment, normal force, stressed deformed state, girder span structure, prestress

References

- 1 DBN V.2.3-14:2006 "Transport structures. Bridges and pipes. Design rules". Ministry of Regions of Ukraine, K.: 2006;
- 2 Snytko V.P. Design of reinforced concrete bridges. Training manual. - K.: NTU, 2005 p. 118.
- 3 Calculations and design of bridges. Volume 1. /Edited by A.I. Lantukha-Lyashchenko/ - K.: NTU, 2007 p.336.

УДК 504.05
UDC 504.05

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-130-142

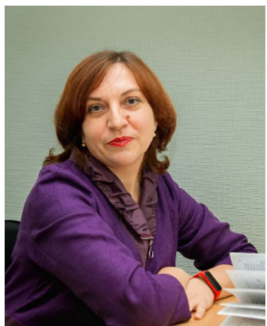
ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ СТАНЦІЇ
АВТОМАТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY BASED ON DATA FROM AN
AUTOMATIC MONITORING STATION



Єсипова Анна Сергіївна, магістр, Національний транспортний університет,
e-mail: anka.kostiushko@gmail.com, тел. +38 (044) 288-51-00

<https://orcid.org/0009-0005-9704-2956>



Кобзиста Оксана Петрівна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри
екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний
транспортний університет, e-mail: kobzista@ukr.net, тел. +380442885100

<https://orcid.org/0000-0002-9944-0609>



Коломієць Сергій Валерійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри
екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний
транспортний університет, e-mail: s.kolomiets@ntu.edu.ua, тел. +38 (044)
288-51-00

<https://orcid.org/0000-0001-9825-8904>



Михайлова Марина Євгенівна, магістр, Національний транспортний
університет, e-mail: drk.mykhailova537@gmail.com, тел. +38 (044) 288-51-00

<https://orcid.org/0009-0001-5924-5630>

Анотація. У статті розглянуто технології створення мережі громадського моніторингу стану забруднення атмосферного повітря міста, що передбачає проведення незалежного спостереження на основі постанов та інших керівних документів щодо якості атмосферного повітря. Пропонується запровадження громадського екологічного моніторингу якості атмосферного повітря на підставі індикативного вимірювання показників якості повітря через сенсорні датчики. Проаналізовано можливості використання станції моніторингу якості атмосферного повітря Oхугеn, яка дозволяє в режимі реального часу контролювати та реєструвати стан повітря, а саме температуру, вологість, концентрацію пилу PM_{2.5} та PM₁₀, CO (оксид вуглецю), NO₂ (оксиди азоту) та NH₃ (аміак). Показано, що функціональні можливості автоматичної станції моніторингу якості атмосферного повітря Oхугеn дозволяють не тільки отримувати оперативні дані про якість атмосферного повітря, а й накопичувати великі дані для оцінки і прогнозування індексів забруднення і ризиків для здоров'я населення, використовуючи для цього персональний кабінет на сайті EcoCity [1].

Під час проведення експериментальних досліджень проводились вимірювання, станцією моніторингу якості атмосферного повітря, максимальні концентрації CO, NH₃, PM₁₀ та PM_{2.5} в атмосферному повітрі, які не перевищували ГДКс.д., при цьому спостерігалось періодичне перевищення концентрації діоксиду азоту NO₂. Отримані дані свідчать про шкідливий вплив, переважно транспортних засобів, на оточуюче середовище та здоров'я населення в даному районі. При подальших дослідженнях планується проведення оцінки ризиків для здоров'я населення Печерського району м. Києва згідно з методичними рекомендаціями «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» [2] враховуючи показники інших станцій громадського моніторингу розташованих в районі дослідження.

Ключові слова: моніторинг якості повітря, громадський моніторинг, автоматична станція моніторингу, забруднюючі речовини, індекс якості повітря, інформування населення.

Вступ. Якість повітряного середовища міста має важливий характер як складова середовища проживання, а тому має вплив на здоров'я громадян. Відповідно до постанови КМУ про здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря [3], та за результатами порівняльного аналізу моніторингу України та країн Європейського союзу, встановлено ряд недоліків, серед яких відсутність автоматизованого аналізу забруднення повітря, зокрема на вміст твердих часток, та відсутність широкого інформування та зацікавлення громадськості щодо стану атмосферного повітря в містах. Важливою задачею є створення мережі моніторингу стану забруднення атмосферного повітря міста, що дозволить здійснити незалежне спостереження за забрудненням повітря, враховуючи нормативні документи та постанови. Так, громадський моніторинг може стати не лише інструментом в залученні громадськості до актуальних проблем міста, але і дозволить усунути ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря.

Системи громадського індикативного моніторингу якості атмосферного повітря за прикладом тих, що ефективно функціонують в Європі, призначені для безперервних спостережень за вмістом забруднюючих речовин у повітрі. Ці системи (табл. 1) мають вирішити питання безперервності вимірювань вмісту полутантів та питання широкого територіального охоплення цими вимірюваннями – питання, які не можуть бути вирішені за допомогою стаціонарних постів спостереження за якістю атмосферного повітря [4].

SaveEcoBot - український стартап, створений у 2018 році та працює у 15 країнах світу. Це некомерційний проект, який швидко набув популярності в Україні і став найбільшим застосунком екологічних даних про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля. Він частково замінює державні функції, збираючи, зберігаючи та поширюючи онлайн всю екологічну інформацію про забруднення, забруднювачі та засоби захисту навколишнього середовища доступну в Україні. Щоб дізнатися рівень забруднення повітря (якість повітря) в Києві, потрібно вибрати відповідну станцію моніторингу на карті [6].

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА / ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

Таблиця 1 - Порівняння станцій громадського моніторингу
Table 1 - Comparison of public monitoring stations

Назва станції	Характеристика станції
Oxygen	Пристрій, який дозволяє в режимі реального часу контролювати та реєструвати стан повітря, а саме температуру, вологість, концентрацію пилу PM2.5 та PM10, CO (оксид вуглецю), NO ₂ (оксиди азоту) та NH ₃ (аміак).
AirFreshMax	1. Станція найдоступніша для громадян України, при цьому вона вимірює основні показники забруднення повітря і метеорологічні дані - температуру, вологість та тиск. 2. Станція обладнана пиломіром на три фракції дрібнодисперсного пилу PM1, PM2.5, PM10 з автоматичним термокомпенсаційним модулем на туманну погоду. 3. Станція має більш спрощений для користувачів монтаж в будь-якому доступному місці.
SaveEcoSensor 3.0	Вимірює рівень пилу, температуру повітря, вологість та атмосферний тиск. Має камеру підігріву, перетворювач живлення, автоматичне оновлення, ультрафіолетовий друк.
Sapphire 32	Станція нового типу від EcoCity. Насамперед вона призначена для мобільного моніторингу. Станція портативна і працює від акумуляторних батарей, які можуть забезпечувати живленням станцію протягом більше 48 годин. Знімає дані з більш ніж десятка сенсорів кожні 5 секунд, після чого виводить усі показники на TFT дисплей і зберігає кожен окремий вимір на згадку з точним часом. Встановлені на Sapphire32 сенсори вимірюють 13 показників якості повітря та опціональний шумомір. Можливе підключення до Wi-Fi для виведення даних на станції на сайті eco-city.org.ua. Обладнана модулем GPS, тому до кожного виміру додаються координати, де він був здійснений, а також супутниковий час.

У 2022 році вийшло оновлення у застосунку «Київ Цифровий» і була додана можливість підписатися на отримання сповіщень про високий рівень забруднення повітря в столиці. Користувачі отримуватимуть сповіщення, коли індекс якості повітря для всієї столичної агломерації буде вище 75, тобто "високе забруднення". Ця послуга буде корисною насамперед батькам з маленькими дітьми, людям з ослабленим здоров'ям та літнім людям. Якщо ви отримали повідомлення про погіршення якості повітря в Києві, варто відкласти тривалі прогулянки та утриматися від фізичних навантажень.

Тому, авторами було проаналізовано дані, отримані з використанням станції моніторингу якості атмосферного повітря Oxygen, яка дозволяє в режимі реального часу контролювати та реєструвати стан повітря, а саме температуру, вологість, концентрацію пилу PM2.5 та PM10, CO (оксид вуглецю), NO₂ (оксиди азоту) та NH₃ (аміак).

Матеріали та методи дослідження. Для оцінки якості атмосферного повітря використовували український індекс якості повітря (Ukrainian Air Quality Index, UAQI) – це шкала якісної та кількісної оцінки якості атмосферного повітря. UAQI як інструмент комунікації дозволяє зацікавленим особам [6]:

- краще зрозуміти якість повітря там, де вони живуть, працюють або подорожують;
- прийняти усвідомлене рішення про дії для безпеки на випадок погіршення якості повітря;

– провести поточний та ретроспективний аналіз якості повітря та обґрунтувати відповідне рішення управління якістю повітря в Україні, в окремих зонах, агломераціях або локаціях;

– поширювати актуальну інформацію про якість повітря у графічній та цифровій формі, адаптованій для сприйняття громадянами без спеціальної фахової підготовки.

UAQI складається з чотирьох груп (рис. 1) основних забруднюючих речовин, а також фізичних параметрів, які впливають на якість та безпечність повітря[9]:

- Група (А) Вміст у повітрі аерозолів та інших дрібнодисперсних твердих часток;

- Група (В) Вміст у повітрі газоподібних забруднюючих речовин пріоритетного переліку, визначеного ВООЗ (WHO-20216);

- Група (С) Вміст у повітрі інших забруднюючих речовин з пріоритетного переліку, який застосовується у практиці охорони атмосферного повітря від забруднення в Україні (Перелік А та Перелік Б Додатку 2 ПКМУ 827 [2], Перелік речовин ПКМУ 1598[8]);

- Група (D) Параметри фізичних факторів, які впливають на якість та безпечність повітря (зокрема, параметри радіоактивності атмосферного повітря тощо).

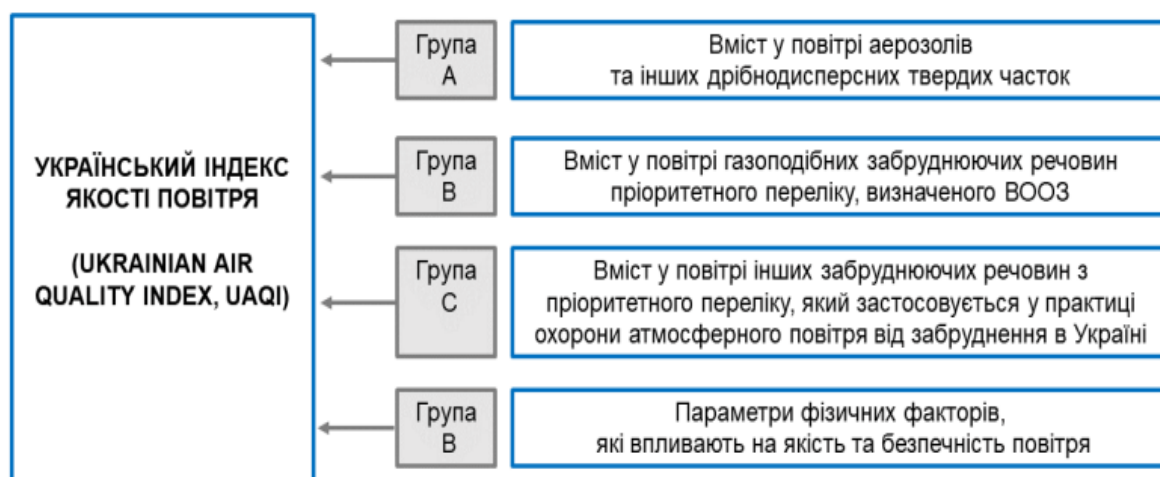


Рисунок 1 - Групи параметрів моніторингу, які формують якість та безпечність повітря Українського індексу якості повітря

Figure 1 - Groups of monitoring parameters that form the air quality and safety of the Ukrainian Air Quality Index

UAQI забезпечує комплексний підхід до всебічної оцінки якості та безпечності повітря на трьох етапах: а) індивідуальна оцінка категорії якості повітря для кожного з параметрів моніторингу, які включені у програму моніторингу якості повітря в певній точці або на певній території; б) визначення категорії якості повітря для кожної групи параметрів; в) формування загального висновку про якість та безпечність повітря у певній локації або громаді [9].

Цей підхід захищає користувача від викривленої, хибної або неповної інформації про якість повітря. Технічні можливості кожної окремої станції громадського моніторингу якості повітря можуть не надавати можливості оцінки якості повітря за усіма забруднюючими речовинами та фізичними параметрами.

Враховуючи можливості та практику розвитку Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eсо City, у таблиці 2 наведена деталізована структура Українського індексу якості повітря, який застосовується у моделі Citizen Science громадського моніторингу якості повітря в Україні.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА / ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

Таблиця 2 – Деталізована структура Українського індексу якості повітря, яка застосовується Українською мережею громадського моніторингу якості повітря Eco City
Table 2 – Detailed structure of the Ukrainian Air Quality Index, which is used by the Ukrainian network of public air quality monitoring Eco City

Група параметрів якості повітря		Індивідуальний параметр якості повітря			Примітка та уточнення
Позначення	Назва	Позначення у комунікації	Позначення у базах даних	Назва	
Група (А)	Вміст у повітрі аерозолів та інших дрібнодисперсних твердих часток	TSP	A1	Загальний вміст недиференційованого за складом пилу (аерозолі)	Моніторинг не здійснюється
		PM ₁₀	A2	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 10 мкм	
		PM _{2.5}	A3	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 2.5 мкм	
		PM ₁	A4	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 1 мкм	У режимі дослідної експлуатації
		PM ₁₀₀	A5	Загальний вміст пилу, тверді часточки диференційовані за розміром, фракцією до 100 мкм	Моніторинг не здійснюється
		Інші	A7-A99	Інші	Зарезервовані
Група (В)	Вміст у повітрі газоподібних забруднюючих речовин пріоритетного переліку, визначеного ВООЗ	NO ₂	B1	Азоту діоксид	
		CO	B2	Вуглецю оксид (чадний газ)	У режимі дослідної експлуатації
		O ₃	B3	Озон (приземний озон)	
		SO ₂	B4	Ангідрид сірчистий (сірки діоксид)	Оцінка не здійснюється
		Інші	B7-B99	Інші	Зарезервовані
		VOC (H ₂ CO)	C1	Леткі органічні сполуки ¹⁾	У режимі дослідної експлуатації
Група (С)	Вміст у повітрі інших забруднюючих речовин з пріоритетного переліку	NH ₃	C2	Аміак	
		H ₂ S	C3	Сірководень	
		Cl ₂	C4	Хлор	
		PH ₃	C5	Фосфін	
		DNO	C6	Еквівалентний показник одорації (запахів)	У режимі дослідної експлуатації
		Інші	C7-C99	Інші	Зарезервовані
Група (D)	Параметри фізичних факторів, які впливають на якість та безпечність повітря	T	D1	Температура атмосферного повітря ²⁾	
		W	D2	Відносна вологість атмосферного повітря ³⁾	
		P	D3	Атмосферний тиск ⁴⁾	
		RAD (мкР/год)	D4	Потужність експозиційної дози у атмосферному повітрі	
		RAD (нЗв/год)	D5	Потужність еквівалентної дози/потужність ефективної дози у атмосферному повітрі	Оцінка не здійснюється
		Інші	D6-D99	Інші	Зарезервовані

Примітки до таблиці:

- 1) Включно з леткими органічними сполуками у перерахунку на формальдегід
- 2) У градусах за шкалою Цельсія, °C
- 3) У процентах відношення абсолютної вологості до її макс. значення при заданій температурі, %.
- 4) У мм.рт.ст. без додаткових обчислень для приведення показники на рівні моря географічної широти 45°)

Український індекс якості повітря (Ukrainian Air Quality Index) встановлює 10 категорій якості повітря (рис. 2) – шість основних, дві додаткові та дві спеціальні.

УКРАЇНСЬКИЙ ІНДЕКС ЯКОСТІ ПОВІТРЯ UKRAINIAN AIR QUALITY INDEX,UAQI		
КАТЕГОРІЯ		
ОСНОВНІ КАТЕГОРІЇ	I	Добра якість повітря
	II	Задовільна якість повітря
	III	Якість повітря несприятлива для чутливих до забруднення повітря груп населення
	IV	Погана якість повітря
	V	Дуже погана якість повітря
	VI	Надзвичайно погана якість повітря
ДОДАТКОВІ КАТЕГОРІЇ	VII	Якість повітря тимчасово невідома, причини технічного характеру
	VIII	Якість повітря невідома, моніторинг не здійснюється
СПЕЦІАЛЬНІ КАТЕГОРІЇ	IX	Якість повітря потребує уточнення, аномальні значення результатів
	X	Якість повітря потребує уточнення, результат поза діапазоном чутливості інструменту моніторингу

Рисунок 2 – Категорії якості та безпечності повітря Український індекс якості повітря

Figure 2 – Categories of air quality and safety Ukrainian Air Quality Index

Шість основних категорій надають користувачу інформацію про якість та безпечність атмосферного повітря згідно практики ЕЕА EU9 . Дві додаткові категорії використовують для позначення випадків, коли якість повітря невідома з різних причин. Спеціальні категорії якості повітря позначають особливі випадки аномальних результатів моніторингу з низьким ступенем довіри або особливими умовами використання. Ці категорії не застосовуються для оповіщення населення, проте враховуються під час детального аналізу ретроспективних результатів моніторингу. Для чіткого та однозначного позначення кожної категорії якості повітря використовують: – Числове позначення категорії, римські цифри від I до X. – Назва категорії якості, яка характеризує рівень ризику і небезпеки (ключове повідомлення). – Кольорове позначення, яка на інтуїтивному рівні

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА / ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

допомагає зрозуміти рівень ризику і небезпеки. – Діапазон значень (шкала) для кожного параметра моніторингу. Визначення категорії якості повітря (як за кожним індивідуальним параметром моніторингу, так і загалом для певної локації або території) відбувається простим порівнянням результату моніторингу з діапазонами значень (шкала) кожного параметра якості повітря [9].

У таблиці 3 наведені діапазони значень (шкала) категорій якості повітря для параметрів, які використовуються у практиці Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City.

Таблиця 3(а) – Шкала Українського індексу якості повітря (група А та В)

Table 3(a) – Scale of the Ukrainian air quality index (group A and B)

				Номер категорії якості повітря															
				I	II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
				Назва категорії якості повітря (Головне повідомлення про якість повітря)															
				Добра якість повітря	Задовільна якість повітря		Несприятлива для забруднення повітря груп населення		Погана якість повітря		Дуже погана якість повітря		Надзвичайно погана якість повітря		Якість повітря тимчасово невідома, причини технічного характеру		Якість повітря невідома, моніторинг не здійснюється		
				Кольорова шкала позначення категорії якості															
Параметр моніторингу				Діапазони значень кожного параметра моніторингу, які визначають категорію якості повітря															
Група	Позначення	Назва	ОВ	(<)	(≤)	(<)	(≤)	(<)	(≤)	(<)	(≤)	(<)	(≤)	(<)	(≤)				
A	PM ₁₀	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 10 мкм	мкг/м ³	0	20	20	40	40	50	50	100	100	150	150	1200	Відсутні дані результатів моніторингу параметра якості повітря.	Відсутні дані результатів моніторингу параметра якості повітря.		
	PM _{2.5}	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 2.5 мкм	мкг/м ³	0,0	10,0	10,0	20,0	20,0	25,0	25,0	50,0	50,0	75,0	75,0	800,0				
	PM ₁	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 1 мкм	мкг/м ³	0	9,0	9,0	18,0	18	20	20	35	35	55	55	400				
B	NO ₂	Азоту діоксид	мкг/м ³	0	40	40	90	90	120	120	230	230	340	340	1000	Станція моніторингу обладнана інструментами для визначення параметра якості повітря.	Станція моніторингу не обладнана інструментами для визначення параметра якості повітря.		
	CO	Вуглецю оксид (чадний газ)	мкг/м ³	0	500	500	1000	1000*	3000	3000	5000	5000	8000	8000	10000				
	O ₃	Озон (приземний озон)	мкг/м ³	0	50	50	100	100	130	130	240	240	380	380	800				
	SO ₂	Ангідрид сірчистий (сірки діоксид)	мкг/м ³	0	100	100	200	200	350	350	500	500	750	750	1250				

Примітки до таблиці: Значення діапазонів наведені у метричних одиницях вимірювань - мкг/м³ (µg/m³). Об'єм приведений до нормальних умов температури 20 °C та тиску 101,325 кПа.

Значення діапазонів параметрів PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃, SO₂ засновані на європейській практиці моніторингу та оцінки якості атмосферного повітря. Значення діапазонів PM₁ встановлено за аналогією відомого співвідношення прийнятного ризику PM₁₀/PM_{2.5} = 2. Значення діапазонів CO, NH₃, VOC (H₂CO), H₂S, HCl, PH₃ встановлено, спираючись на поширену в Україні практику оцінки якості та безпечності повітря, а також чинні гігієнічні регламенти 15, 16, 17. Значення діапазонів H₂S, HCl, PH₃ встановлено, спираючись на AEGL-1 рівні небезпечного впливу згідно настанов EPA Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs), приведені до метричної системи одиниць вимірювань за температури 20 °C та тиску 101,325 кПа.

Результати і пояснення. Експериментальні дослідження проводились в рамках міжнародної програми «Чисте повітря для України», до якої в березні 2023 року приєднався Національний транспортний університет.

У рамках дослідження, в лабораторії кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (ауд.357а) в центральному корпусі університету по вул. Омеляновича-Павленка, 1, (рис. 3) була встановлена станція моніторингу якості повітря.

Універсальна станція моніторингу якості повітря «Oxugen» (рис. 4) дозволяє здійснювати контроль та реєстрацію стану повітря, а саме показники температури, вологості, концентрації пилу PM_{2.5} і PM₁₀, CO (Оксид вуглецю), NO₂ (Діоксид азоту), NH₃ (Аміак) в режимі реального часу. Ці забруднюючі речовини входять в пріоритетний список "А", щодо яких проводиться оцінювання якості повітря згідно Порядком державного моніторингу в сфері охорони атмосферного повітря [1].

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА / ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

Під час проведення дослідження показників забруднюючих речовин проведено вимірювання та оцінено динаміку змін концентрацій шкідливих речовин (NO_2 , CO , NH_3 , пил) в атмосферному повітрі за три рази на добу протягом двох тижнів, що дало змогу зробити аналіз стану якості атмосферного повітря в районі встановлення станції моніторингу (рис. 5).

Таблиця 3(б) – Шкала Українського індексу якості повітря (група С)

Table 3(b) – Scale of the Ukrainian air quality index (group C)

				Номер категорії якості повітря																
				I	II		III		IV		V		VI		VII			VIII		
				Назва категорії якості повітря (Головне повідомлення про якість повітря)																
				Добра якість повітря	Задовільна якість повітря		Несприятлива для чутливих до забруднення повітря груп населення		Погана якість повітря		Дуже погана якість повітря		Надзвичайно погана якість повітря		Якість повітря тимчасово невідома, причини технічного характеру			Якість повітря невідома, моніторинг не здійснюється		
				Кольорова шкала позначення категорії якості																
Параметр моніторингу				Діапазони значень кожного параметра моніторингу, які визначають категорію якості повітря																
C	VOC (H ₂ CO)	Сума летких органічних сполук (включно з леткими органічними сполуками у перерахунку на формальдегід)	мкг/м ³	0	10	10	20	20	35	35	50	50	100	100	300	Відсутні дані результатів моніторингу параметра якості повітря.	Відсутні дані результатів моніторингу параметра якості повітря.			
	NH ₃	Аміак	мкг/м ³	0	10	10	25	25	40	40	100	100	200	200	500					
	H ₂ S	Сірководень	мкг/м ³							200	400	400	500	500	1200					
	Cl ₂	Хлор	мкг/м ³					30	65	65	100	100	130	130	260					
	PH ₃	Фосфін	мкг/м ³							10	50	50	100	100	350					
	DNO	Еквівалентний показник одорації (запаху)	ppm	0	0,2	0,2	1	1	1,5	1,5	3	3	10	10	20	Станція моніторингу обладнана інструментами для визначення параметра якості повітря.	Станція моніторингу не обладнана інструментами для визначення параметра якості повітря.			

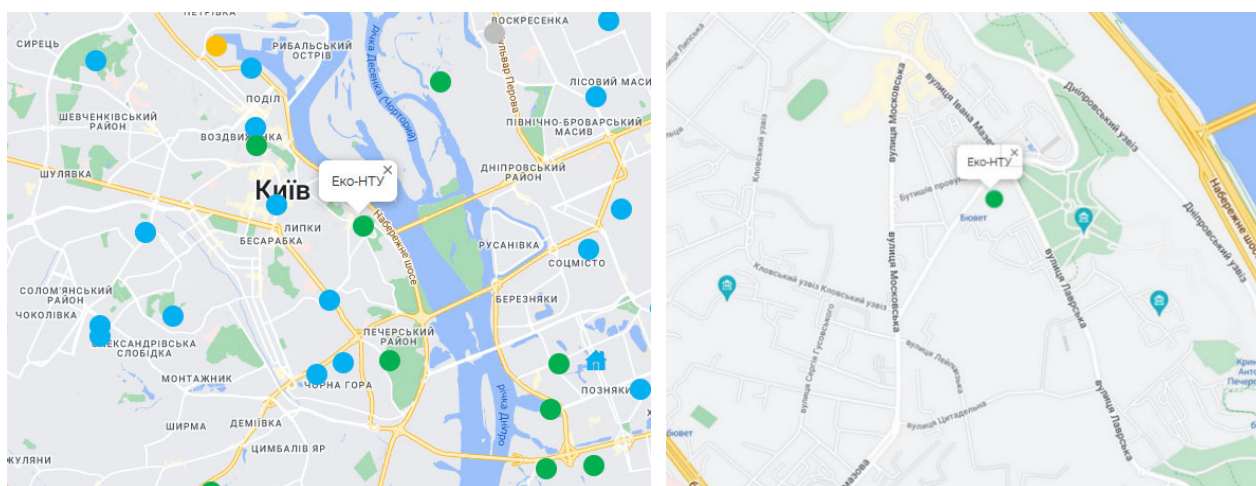


Рисунок 3 – Карта розміщення станції моніторингу

Figure 3 – Location map of the monitoring station



Рисунок 4 – Універсальна станція моніторингу якості повітря «Oxygen»
Figure 4 – Universal air quality monitoring station «Oxygen»

Пил 2.5 мкм PM2.5	1.41 мкг/м³	Пил 2.5 мкм PM2.5	3.97 мкг/м³	Пил 2.5 мкм PM2.5	3.59 мкг/м³	Пил 2.5 мкм PM2.5	2.28 мкг/м³
Пил 10 мкм PM10	3.06 мкг/м³	Пил 10 мкм PM10	7.23 мкг/м³	Пил 10 мкм PM10	7.01 мкг/м³	Пил 10 мкм PM10	4.67 мкг/м³
Температура Temperature	15.49 °C	Температура Temperature	12.15 °C	Температура Temperature	17.41 °C	Температура Temperature	11.13 °C
Вологість Humidity	29.76 %	Вологість Humidity	42.25 %	Вологість Humidity	31.44 %	Вологість Humidity	64.23 %
Атмосферний тиск Pressure	749.53 мм.рт.ст.	Атмосферний тиск Pressure	750.58 мм.рт.ст.	Атмосферний тиск Pressure	743.53 мм.рт.ст.	Атмосферний тиск Pressure	746.33 мм.рт.ст.
Аміак NH ₃	1.23 мкг/м³	Аміак NH ₃	1.51 мкг/м³	Аміак NH ₃	1.67 мкг/м³	Аміак NH ₃	1.41 мкг/м³
Діоксид азоту NO ₂	99.75 мкг/м³	Діоксид азоту NO ₂	82.71 мкг/м³	Діоксид азоту NO ₂	73.45 мкг/м³	Діоксид азоту NO ₂	90.18 мкг/м³
Монооксид вуглецю CO	683.78 мкг/м³	Монооксид вуглецю CO	706.35 мкг/м³	Монооксид вуглецю CO	762.59 мкг/м³	Монооксид вуглецю CO	699.58 мкг/м³
Погода Київ 12.75°C 61% 751мм.рт.ст.	✓0.45м/с	Погода Київ 12.95°C 62% 751мм.рт.ст.	✓0.45м/с	Погода Київ 12.95°C 62% 751мм.рт.ст.	✓0.45м/с	Погода Київ 12.75°C 61% 751мм.рт.ст.	✓0.45м/с
Дані надано: Національний транспортний університет станція Eco-City		Дані надано: Національний транспортний університет станція Eco-City		Дані надано: Національний транспортний університет станція Eco-City		Дані надано: Національний транспортний університет станція Eco-City	

Рисунок 5 – Візуалізація отриманих даних в особистому кабінеті на сайті eco-city.org.ua
Figure 5 – Visualization of the data obtained in the personal account on the website eco-city.org.ua

За даними станції авторами роботи проведено вимірювання та оцінено динаміку змін концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Результати вимірювань (середні значення за 14 діб) представлено у таблиці 4 та на рисунку 6.

Таблиця 4 – Середні значення вимірів стаціонарної станції

Table 4 – Average values of stationary station measurements

Назва	Середні значення за добу, мкг/м ³							ГДК с.д., мкг/м ³
Пил 2.5 мкм	6,44	9,63	3,97	3,08	3,63	11,2	4,59	25
Пил 10 мкм	10,39	13,85	7,23	5,61	8,08	19,65	9,12	50
Аміак	2,02	1,36	1,51	1,31	1,42	2,02	1,85	40
Діоксид азоту	59,69	48,67	62,71	93,75	88,26	59,69	39,78	40
Оксид вуглецю	530	656	706	693	719	732	615	3000
Дата	31.03.23	01.04.23	02.04.23	03.04.23	04.04.23	05.04.23	06.04.23	
Назва	Середні значення за добу, мкг/м ³							ГДК с.д., мкг/м ³
Пил 2.5 мкм	5,36	9,59	2,43	7,86	4,99	10,87	8,23	25
Пил 10 мкм	7,66	5,13	4,55	11,35	9,00	14,83	12,15	50
Аміак	1,44	2,15	1,28	1,07	1,61	1,94	1,91	40
Діоксид азоту	37,05	30,07	42,75	48,39	34,82	27,74	27,35	40
Оксид вуглецю	643	596	531	538	531	551	588	3000
Дата	07.04.23	08.04.23	09.04.23	10.04.23	11.04.23	12.04.23	13.04.23	

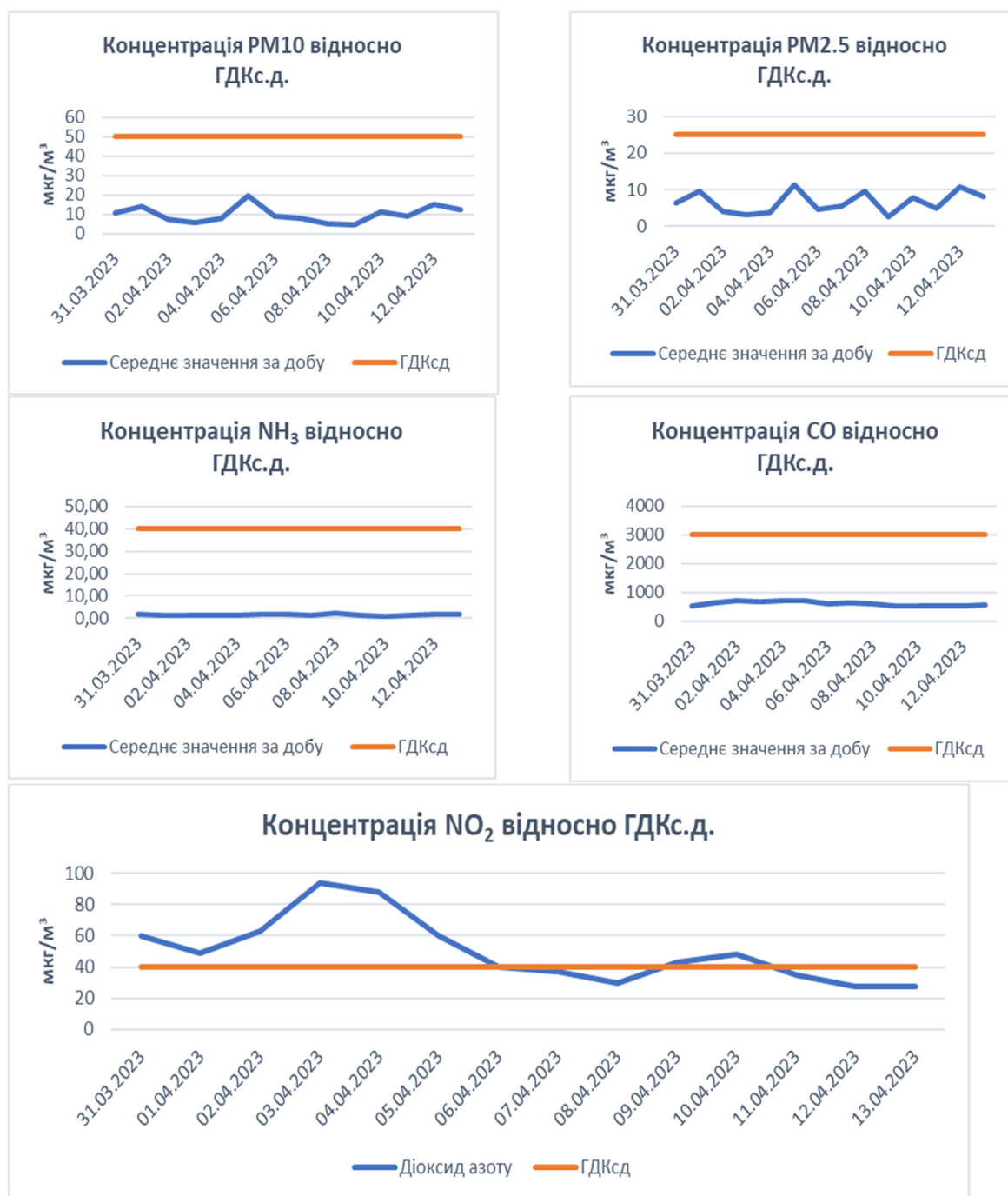


Рисунок 6 - Зміни концентрації пилу PM2.5 і PM10, CO, NO₂, NH₃

Figure 6 - Changes in the concentration of dust PM2.5 and PM10, CO, NO₂, NH₃

Висновки

Отже, під час вимірювань станцією моніторингу якості атмосферного повітря максимальні концентрації CO, NH₃, PM10 та PM2.5 в атмосферному повітрі не перевищували ГДКс.д., при цьому спостерігалось періодичне перевищення концентрації діоксиду азоту NO₂. Отримані дані свідчать про

шкідливий вплив, переважно транспортних засобів [10], на оточуюче середовище та здоров'я населення в даному районі. При подальших дослідженнях планується проведення оцінки ризиків для здоров'я населення Печерського району м. Києва згідно з методичними рекомендаціями «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» враховуючи показники інших станцій громадського моніторингу розташованих в районі дослідження.

Таким чином, функціональні можливості автоматичної станції моніторингу якості атмосферного повітря Охуген дозволяють не тільки отримувати оперативні дані про якість атмосферного повітря, а й накопичувати великі дані для оцінки і прогнозування індексів забруднення і ризиків для здоров'я населення, використовуючи для цього персональний кабінет на сайті eco-city.org.ua.

Перелік посилань

1. <https://eco-city.org.ua/> - веб-сайт проекту громадського моніторингу якості повітря EcoCity.
2. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затв. Наказом МОЗ України від 13.04.07 № 184. Київ, 2007. – 40 с.
3. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова КМУ від 14 серпня 2019 р № 827.
4. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
5. <https://www.saveecobot.com/> - екологічний чат-бот, який поєднує дані про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля.
6. CAQI Air quality index Comparing Urban Air Quality across Borders – 2012. EUROPEAN UNION European Regional Development Fund Regional Initiative Project Cite Air II. INTERREG IVC Programme. 38 p.
7. The European Air Quality Index. Menu About the European Air Quality Index. URL: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>.
8. Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню. Постанова КМУ від 29 листопада 2001 р. № 1598.
9. Radiation and Smog Alarm. Настанови та принципи оповіщення населення про якість повітря, радіаційну та хімічну безпеку / під заг. ред. М. Л. Сорока. Прага - Івано-Франківськ: Arnika, 2022. – 58 с.
10. Kolomiets, S., Kolomiets, A. (2021). Integral Criterion of Environmental Safety as an Indicator of the Effectiveness of a Motor Transport Enterprise Management. In: Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1246. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3_22.

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY BASED ON DATA FROM AN AUTOMATIC MONITORING STATION

Yesypova Anna S., Master's degree, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: anka.kostiushko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-9704-2956>.

Kobzysa Oksana P., PhD in Biology, Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, National Transport University, Kyiv, Ukraine
e-mail: kobzysa@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9944-0609>.

Kolomiets Serhii V., PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: s.kolomiets@ntu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9825-8904>.

Mykhailova Maryna E., Master's degree, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: drk.mykhailova537@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5924-5630>.

Abstract. The article discusses the technologies for creating a network of public monitoring of the state of atmospheric air pollution in the city, which involves independent monitoring based on resolutions and other guidelines on air quality. It is proposed to introduce public environmental monitoring of atmospheric air quality on the basis of indicative measurement of air quality indicators through sensor sensors. The possibilities of using the Oxygen air quality monitoring station, which allows real-time monitoring and recording of the air condition, namely temperature, humidity, PM_{2.5} and PM₁₀ dust concentration, CO (carbon monoxide), NO₂ (nitrogen oxides) and NH₃ (ammonia), are analyzed. It has been shown that the functionality of the Oxygen automatic air quality monitoring station allows not only to obtain operational data on air quality, but also to accumulate big data for assessing and predicting pollution indices and risks to public health using a personal account on the EcoCity website [1].

During the experimental studies, the air quality monitoring station measured the maximum concentrations of CO, NH₃, PM₁₀ and PM_{2.5} in the air that did not exceed the MPCs, while periodically exceeding the concentration of nitrogen dioxide NO₂. The data obtained indicate a harmful impact, mainly of vehicles, on the environment and public health in the area. In further studies, it is planned to assess the risks to public health in the Pechersk district of Kyiv in accordance with the guidelines "Assessment of the risk to public health from air pollution" [2], taking into account the indicators of other public monitoring stations located in the study area.

Keywords: air quality monitoring, public monitoring, automatic monitoring station, pollutants, air quality index, public awareness.

References

1. <https://eco-city.org.ua/> - website of the EcoCity public air quality monitoring project. [in Ukrainian]
2. Methodological recommendations MR 2.2.12-142-2007. Assessment of the risk to public health from air pollution. Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine. Order of the Ministry of Health of Ukraine of 13.04.07 № 184. Kyiv, 2007. 40 p. [in Ukrainian]
3. Some issues of state monitoring in the field of atmospheric air protection. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 827 of August 14, 2019. [in Ukrainian]
4. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. [in English]
5. <https://www.saveecobot.com/> is an environmental chatbot that combines data on pollution, polluters, and environmental protection tools. [in Ukrainian]
6. CAQI Air quality index Comparing Urban Air Quality across Borders - 2012. EUROPEAN UNION European Regional Development Fund Regional Initiative Project Cite Air II. INTERREG IVC Program. 38 p. [in English]
7. The European Air Quality Index. Menu About the European Air Quality Index. URL: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>. [in English]
8. On Approval of the List of the Most Common and Hazardous Pollutants, Emissions of which into the Atmospheric Air are Subject to Regulation. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 29, 2001, No. 1598. [in Ukrainian]
9. Radiation and Smog Alarm. Guidelines and principles of public notification of air quality, radiation and chemical hazards / edited by M. L. Soroka. Prague - Ivano-Frankivsk: Arnika, 2022. 58 p. [in Ukrainian]
10. Kolomiets, S., Kolomiets, A. (2021). Integral Criterion of Environmental Safety as an Indicator of the Effectiveness of a Motor Transport Enterprise Management. In: Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1246. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3_22. [in English].

УДК 656:004.9
UDC 656:004.9

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-143-155

ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ
СТІЙКИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

INTEGRATION OF SENSOR TECHNOLOGIES IN TRANSPORT SYSTEMS TO CREATE
SUSTAINABLE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS



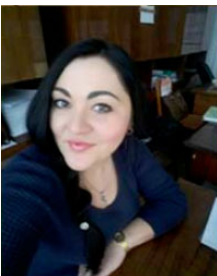
Борецький Владислав Вікторович, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, e-mail: vladlenius88@gmail.com, тел. +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а.

<https://orcid.org/0000-0001-5525-4604>



Донець Вероніка Василівна, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету. e-mail: nerik2008@ukr.net, тел. +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а.

<https://orcid.org/0000-0003-2353-0699>



Ковальчук Оксана Петрівна, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету. e-mail: kovalchukoksana30@gmail.com, тел. +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а.

<https://orcid.org/0000-0001-9456-8438>



Шумейко Олексій Андрійович, доцент кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету. e-mail: shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, тел. +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а.

<https://orcid.org/0000-0003-2897-060X>

Анотація. Кожного дня на дорозі ми стикаємося з проблемами заторів, безпеки руху та забруднення навколишнього середовища. Все це має безпосереднє відношення до якості та ефективності функціонування транспортних систем. Для вирішення цих проблем застосовують інформаційно-

комунікаційні технології, що все більше інтегруються в сучасні транспортні системи. Виробники автомобілів розробляють автомобільні датчики для підвищення безпеки транспортних засобів, керування дорожнім рухом та для розвитку інформаційно-розважальних систем. Урядові установи в свою чергу розгортають придорожню інфраструктуру, встановлюючи камери відеоспостереження та дорожні датчики, щоб збирати дані про навколишнє середовище та дорожній рух. Завдяки безперебійній інтеграції сенсорних технологій в транспортні засоби їх сенсорні та комунікаційні можливості можна використовувати для створення інтелектуальних транспортних систем.

У статті розглянуто перспективи використання сенсорних датчиків для забезпечення ефективності функціонування транспортних систем і транспортної інфраструктури в цілому.

Проведено аналіз видів датчиків в залежності від об'єкту використання – для транспортних засобів та для доріг. Розглянуто окремо по категоріям програми для забезпечення роботи тих чи інших датчиків.

Розглянуто на прикладі процес інтеграції та роботи сенсорних технологій з інформаційно-комунікаційними, для забезпечення ефективного функціонування інтелектуальної транспортної системи.

Зробивши висновок з проведеного дослідження, можна припустити, що розвиток сенсорних технологій та їх інтеграція в транспортну систему значно підвищить безпеку учасників транспортного руху та підвищить ефективність роботи транспортної системи в цілому.

Ключові слова: датчики; програми; автомобіль; ІТС; система.

Вступ

Транспортні системи стали фундаментальною основою економічного зростання в різних країнах. Проте багато міст у всьому світі стикаються з неконтрольованим зростанням транспортного потоку, що призводить до серйозних проблем, таких як затримки, затори, підвищення цін на паливо, збільшення викидів CO₂, аварії, надзвичайні ситуації та зниження якості життя в сучасному суспільстві.

Київ посів третє місце в рейтингу міст із найбільшими заторами, про це йдеться у дослідженні сервісу TomTom. Загалом на стояння у заторах кияни витратили 229 годин або 9,5 днів за рік. Середня затримка у 2021 році склала 56%, що на 5% більше, ніж минулого року. У середньому містяни проводять в заторах 128 годин на рік, тобто трохи більше п'яти днів. У 2021 році в Києві спостерігалось помітне зростання завантаженості доріг. Дані показують, що середній час у дорозі збільшився на три хвилини в день [1].

Ці проблеми загострюватимуться в майбутньому через зростання чисельності населення та посилення міграції до міст у багатьох країнах світу, як повідомляють Фонд народонаселення ООН та Бюро довідок з питань народонаселення. Тому існує нагальна потреба у підвищенні безпеки та ефективності перевезень.

Досягнення інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у таких сферах, як апаратне забезпечення, програмне забезпечення та комунікації, створили нові можливості для розробки стійких інтелектуальних транспортних систем. Інтеграція ІКТ у транспортну інфраструктуру забезпечить кращий і безпечніший досвід подорожей і перехід до інтелектуальних транспортних систем (ІТС), які зосереджуються на чотирьох фундаментальних принципах: сталість, інтеграція, безпека та оперативність. Ці принципи відіграватимуть фундаментальну роль у досягненні головних цілей ІТС, включаючи доступність і мобільність, екологічну стійкість та економічний розвиток.

Успіх ІТС значною мірою залежить від платформ, які використовуються для доступу, збору та обробки точних даних із середовища. Сенсорні платформи зазвичай діляться на дві категорії. Перша категорія – бортова сенсорна платформа, яка збирає дані про стан автомобіля. Друга категорія, міські сенсорні платформи, використовуються для збору інформації про стан дорожнього руху. Технологія датчиків є важливим компонентом для збору даних під час зв'язку між транспортним засобом і транспортним засобом з інфраструктурою. Потім ці дані надаються системі управління

транспортуванням для подальшої обробки та аналізу та подальшого прийняття рішень/дій. Очікується, що інтелектуальні транспортні системи зможуть вирішити такі проблеми, як високі ціни на нафту, високі викиди вуглекислого газу, великі затори та покращені дороги.

Метою даної роботи є аналіз застосування сенсорних технологій в транспортних системах та створення за допомогою інтеграції цих технологій стійкої інтелектуальної транспортної системи.

Сенсорні технології

Датчики використовуються в різних галузях, включаючи охорону здоров'я, сільське господарство, лісове господарство, моніторинг транспортних засобів і морський моніторинг. На транспорті сенсорна технологія лежить в основі проектування і розробки широкого спектру додатків, включаючи управління дорожнім рухом, безпеку і розваги. В останні роки датчики і приводи, такі як датчики тиску в шинах і системи заднього виду, стали необхідними у виробництві транспортних засобів та інтелектуальних транспортних систем для підвищення задоволеності водіїв і пасажирів, підвищення безпеки дорожнього руху і надання послуг, спрямованих на зменшення заторів. Виробники також встановлюють додаткові датчики для моніторингу роботи та стану транспортного засобу, підвищення ефективності та надання допомоги водіям. Наразі середня кількість датчиків у транспортному засобі становить близько 60-100, але в міру того, як транспортні засоби стають розумнішими, на одному транспортному засобі може бути до 200 датчиків.

Автомобільні датчики.

В ІТС визначення типу датчиків для розробки додатків, які сприяють вирішенню таких проблем, як: затори та проблеми з паркуванням, довший час поїздки, вищі рівні викидів CO₂ та збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод, серед іншого, має вирішальне значення для покращення характеристик транспортного засобу, а також покращення досвіду водіння. На рисунку 1 зображено деякі з найбільш широко використовуваних сьогодні датчиків у автомобілях [2].



Рисунок 1 – Типи датчиків автомобіля.

Figure 1 – Types of car sensors.

Програми для датчиків автомобіля.

Безпека водіння в автомобілях забезпечується цілим комплексом технічних інновацій. Одна з них – системи, які беруть під контроль визначення тиску в шинах автомобіля.

Раніше такі сервіси воліли встановлювати в авто бізнес-класу. Зараз вони доступні для будь-якого автомобіля. Хоча є свої особливості. Наприклад дешевші системи використовують вже застосовуються в авто технології стеження за рухом колеса. Більш складні, пропонують контроль тиску в шинах автомобіля за допомогою установки датчиків і узагальнення отриманих від них результатів. Будь-яка з відомих TPMS systems, заснована на прямому/непрямому контролі. Ці системи кардинально відрізняються по реалізації [3].

Датчики наближення, ультразвукові та електромагнітні датчики використовуються для допомоги при паркуванні та сигналізації при русі заднім ходом. Датчики наближення визначають, коли автомобіль наближається до об'єкта. Ультразвукові датчики використовують тип сенсора для визначення відстані між автомобілем і об'єктом і попереджають водія, коли автомобіль наближається ближче встановленого порогу. Електромагнітні датчики попереджають водія, якщо об'єкти потрапляють в електромагнітне поле, утворене навколо переднього і заднього бамперів. Датчики наближення розробили системи на основі прямокутного масиву ємнісних датчиків наближення для кількісної оцінки положення голови водія, щоб відповідати рекомендаціям ІІНС (Страхового інституту безпеки дорожнього руху). Однак цей тип датчиків чутливий до температури і вологості, що знижує їхню точність.

Радарні та лазерні датчики (RADAR) постійно сканують на предмет передніх, бічних і задніх зіткнень і за допомогою радіохвиль визначають відстань між перешкодами та дорогою, дозволяючи програмі безпеки відрегулювати газ і натиснути на гальма, щоб запобігти потенційному зіткненню або небезпечній ситуації. Датчики сповіщають водія, коли щось виявляється поблизу автомобіля, що дозволяє додатку автоматично застосувати гальма і уникнути зіткнення.

Гіроскопи та акселерометри використовуються в інерціальних навігаційних системах (INS) для визначення параметрів транспортного засобу, таких як положення, курс і швидкість; INS використовується в поєднанні з глобальними системами позиціонування (GPS) для підвищення точності.

Радарні датчики і датчики швидкості використовуються для виявлення зміни смуги руху або з'їзду зі смуги і попередження водія про небезпеку. Зазвичай водій отримує сповіщення за допомогою вібрації сидіння або керма, або звукового сигналу.

Камери можуть (1) відстежувати положення тіла водія, положення голови і рухи очей для виявлення ненормальних станів, таких як ознаки втоми або незвичної поведінки транспортного засобу (відхилення від прямолінійного руху, пішоходи, які раптово переходять дорогу перед автомобілем); (2) запускати програми нічного бачення, щоб допомогти водієві бачити далі по дорозі, тварин, людей, дерева на дорозі та інші об'єкти та інші об'єкти, які можуть спричинити небезпечні ситуації або аварії, та (3) допомагати водіям бачити далі від дороги і виявляти тварин, людей, дерева та інші об'єкти на дорозі, які можуть спричинити аварії.

LIDAR (Light Detection And Ranging) став ключовим компонентом еволюції автономних транспортних засобів. LIDAR дозволяє безпілотному автомобілю (або будь-якому роботу) спостерігати за світом за допомогою кількох спеціальних характеристик, таких як постійна видимість на 360 градусів і високоточна інформація про глибину. Датчики LIDAR постійно випускають промені лазерного світла, а потім вимірюють, скільки часу потрібно, щоб світло повернулося до датчика.

Хоча всі транспортні засоби оснащені великою кількістю датчиків, інтеграція з іншими компонентами та відсутність єдиних стандартів між різними брендами є основними недоліками в їхньому впровадженні. З іншого боку, функціональність сучасних систем автоматизованого водіння обмежена. Наприклад, компанія Volvo встановила безпечне обмеження швидкості 50 км/год або менше в міських районах, щоб уникнути зіткнень з іншими транспортними засобами, мотоциклами та

велосипедами. Система безпеки в місті базується на лазерному приладі, який може виявляти транспортні засоби в темряві лише за умови, що фари і задні ліхтарі увімкнені і їх добре видно.

Дорожні датчики.

Стратегічні інвестиції в транспортну інфраструктуру є життєво важливими для зростання країни і лежать в основі сучасної економіки. Щороку уряди країн світу інвестують величезні суми грошей у транспортний сектор. Зазначимо, що транспортна інфраструктура в Україні у довоєнний час потребувала значного інвестування для її розвитку та модернізації. За дослідженням Європейської Бізнес Асоціації, за підсумками 2021 р., інтегральний показник Інфраструктурного індексу української транспортної галузі дорівнював 2,76 балів із 5-ти можливих. Найвище значення Інфраструктурного індексу зафіксовано у авіаційному транспорті – 3,15 бала. У решті транспортних галузей України інтегральні показники Інфраструктурного індексу розташовані таким чином: автомобільний транспорт – 2,96 бала, внутрішній водний – 2,75, морський – 2,47, залізничний – 2,45 бала. В останні роки залученню інвестицій у розбудову транспортної галузі приділялася значна увага, проте реалізація проєктів з модернізації цього сектору припинилася через розгортання повномасштабної агресії Російської Федерації проти України [4].

У той час як автомобільна промисловість інвестує значні кошти в підвищення безпеки, продуктивності і комфорту транспортних засобів за допомогою бортових датчиків, збір даних про дорожній рух за допомогою механізмів, встановлених уздовж доріг, є одним з головних викликів для інтелектуальних транспортних систем. Розміщення датчиків у дорожній мережі може надати водіям нові послуги, такі як розумне паркування (наприклад, підбір водіїв до вільних паркувальних місць) та знижки на оплату за проїзд на основі даних про завантаженість доріг. Датчики збирають дані про навколишнє середовище в режимі реального часу, які потім можуть бути оброблені та проаналізовані для покращення транспортної мережі та її сталого розвитку.

Залежно від місця встановлення датчики поділяються на інтрузивні та неінтрузивні. Інтрузивні датчики встановлюються на асфальтованих поверхнях. Хоча вони є більш точними, вони також є більш дорогими в установці та обслуговуванні. Загалом, інтрузивні датчики поділяються на три групи: (1) Пасивні магнітні датчики: встановлюються на дорозі та підключаються до процесора дротовим або бездротовим способом (2) Пневматичні трубчасті датчики: встановлюються поперек дороги та передають дані до процесора дротовим/бездротовим способом (3) Індуктивні петлі: передають дані на процесор через дрітні котушки, закопані в дорогу. Ця група датчиків найчастіше використовується в системах управління дорожнім рухом.

Неінтрузивні датчики виконують багато функцій інтрузивних датчиків з меншими труднощами. Однак вони дуже чутливі до кліматичних умов, таких як сніг, дощ і туман. Точні дані про дорожній рух необхідні для прийняття обґрунтованих рішень щодо поліпшення умов водіння. Водії з більшою ймовірністю помітять непомітні датчики і будуть реагувати по-іншому і швидше, коли їх виявлять, наприклад, сповільнять рух або перейдуть в іншу смугу. Завдання полягає не лише у встановленні цих датчиків, але й у скороченні часу реакції водіїв на основі зібраних даних, щоб вони могли точніше оцінювати ситуацію та реальний стан дороги і шляху.

Програми безпеки водіння.

Окрема категорія програм розроблена для забезпечення безпеки водія та пасажирів, таким чином зменшуючи кількість аварій, травм і смертельних випадків. Кожен виробник авто прагне розробити свою інтелектуальну систему безпеки. Розглянемо її можливості на прикладі системи безпеки Hyundai SmartSense (рисунок 2) [5].

На рисунку зображені наступні додатки системи безпеки автомобіля: (а) допомога в утриманні смуги руху, (б) адаптивний круїз-контроль, (с) інформація про сліпі зони, (д) попередження про лобове зіткнення, (е) запобігання зіткнень заднього ходу та (ф) асистент дальнього світла.

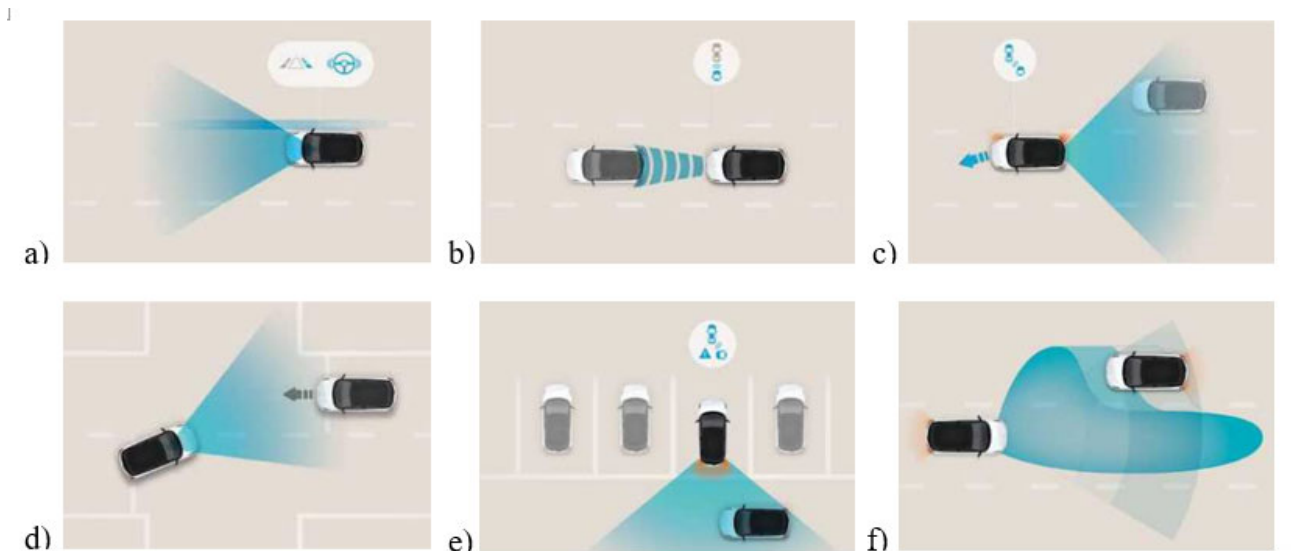


Рисунок 2 – Приклади датчиків безпеки ІТС
Figure 2 – Examples of security sensors of the ITS

Програма системи підтримки смуги руху фокусується на забезпеченні безпеки автомобіля під час руху. Він використовує камеру, встановлену за дзеркалом заднього виду, для моніторингу розмітки смуги руху і може виявляти лавини за межами смуги. Адаптивний круїз-контроль – це програмне забезпечення, яке використовує радар, датчики швидкості та відстані для регулювання швидкості та підтримання безпечної дистанції до транспортного засобу, що рухається попереду. Датчики поєднуються з алгоритмами прогнозування, такими як нейро-нечіткі алгоритми та прогнозування радіуса кривої, щоб визначити найкращий кут для повороту на кривих дорогах. Інформація про сліпі зони – це програма, яка використовує радарні датчики для попередження про зміну смуги руху, якщо транспортний засіб виявлено в сліпій зоні. Програми попередження про зіткнення на перехрестях використовують датчики положення і швидкості для визначення ймовірності зіткнення транспортних засобів і надсилають попереджувальний сигнал, якщо ймовірність зіткнення перевищує певний заздалегідь визначений запас міцності. Програми всеспрямованого моніторингу використовують камери для виявлення перешкод навколо транспортного засобу, щоб полегшити паркування та маневрування.

Для подальшого вдосконалення додатків безпеки важливо використовувати злиття даних з декількох джерел і інтелектуальні алгоритми обробки, щоб не тільки попереджати водія, а й визначати час реакції і приймати швидкі автоматичні рішення для зниження ризику аварій.

Програми управління дорожнім рухом.

Програми ІТС у цій категорії покращують транспортний потік на дорогах і в міських зонах (рисунок 3). Програми відеоспостереження можна розділити на дві категорії: фіксовані системи відеоспостереження, які складаються зі стаціонарних станцій, які використовують камери та датчики, встановлені на дорогах, для моніторингу дорожніх умов. Друга категорія, яка називається спостереженням на дорозі, використовує датчики та камери, вбудовані в транспортні засоби, для підтримки спостереження.

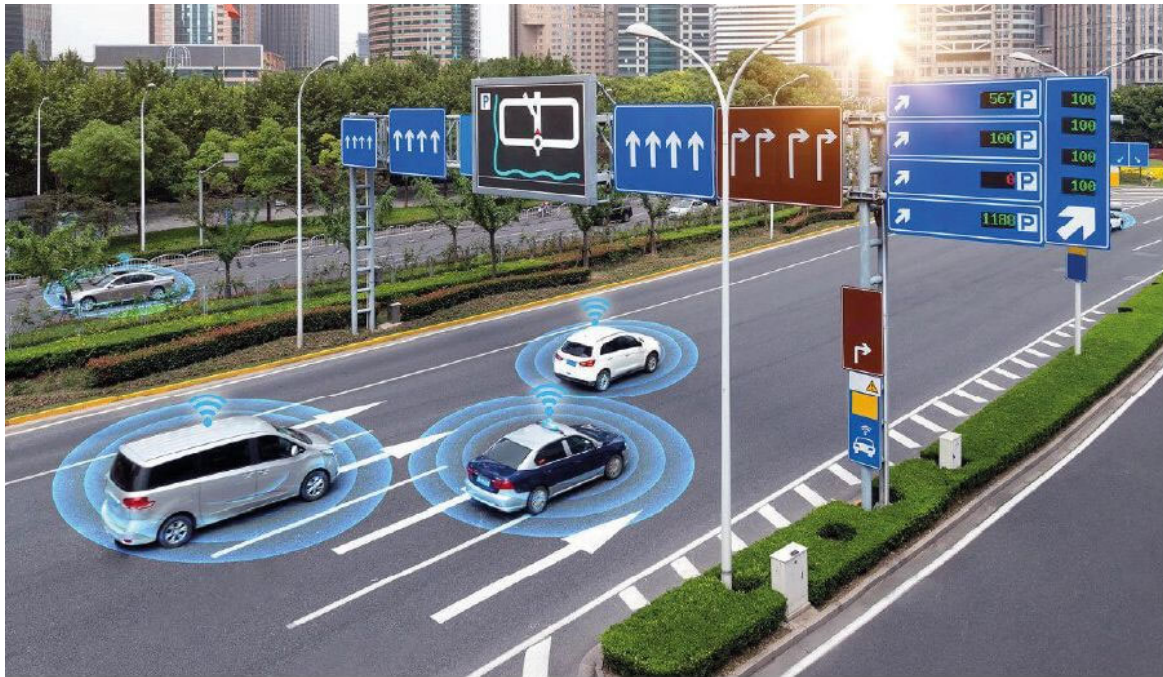


Рисунок 3 – Візуалізація технології Smart Road
Figure 3 – Smart Road Technology visualization

Камери спостереження за скупченням людей і завантаженням доріг з можливістю часткового інформування про правопорушення, а також з функціями розпізнавання облич і автомобільних номерів для виявлення розшукуваних з'явилися в Києві вже в 2016 році. Але їх використання в повному обсязі відкладалося до розвитку систем аналізу та обробки даних, яка стала впроваджуватися тільки з весни 2020 року [6].

Програми для керування смугами руху зосереджені на управлінні доступною пропускною здатністю доріг під час особливих дорожніх ситуацій, таких як екстрена евакуація, інциденти та небезпечні погодні умови. Програма використовує радар, камери та інфрачервоні датчики для виявлення присутності, напрямку і швидкості транспортних засобів. Системи управління дорожнім рухом для спеціальних заходів - це тип систем управління смугами руху, які використовуються для контролю і зменшення заторів на спеціальних об'єктах, таких як стадіони і конференц-центри. Вони використовують датчики (наприклад, радарні та інфрачервоні) і камери для зміни напрямку руху відповідно до потреб дорожнього руху.

Програми управління перехрестями – це скоординовані програми, які є альтернативою традиційному управлінню перехрестями на основі світлофорів. У цьому додатку учасники дорожнього руху, інфраструктура і центри управління дорожнім рухом працюють разом, щоб ефективніше координувати безпеку руху, поєднуючи технологію RFID, датчики наближення, ультразвукові та радарні датчики, камери, планування маршрутів і віртуальну симуляцію світлофорного сигналу.

Програми для управління паркуванням (РМА) (рисунок 4) [7] використовують магнітометр, індукційну петлю, інфрачервоні та радіочастотні технології для збору інформації про зайнятість парковок, інформування водіїв про можливості паркування та вільні місця поблизу зон, а також допомагають в управлінні та розподілі місць для паркування, таким чином зменшити розчарування мандрівників та проблеми заторів, пов'язані з пошуком місця для паркування.

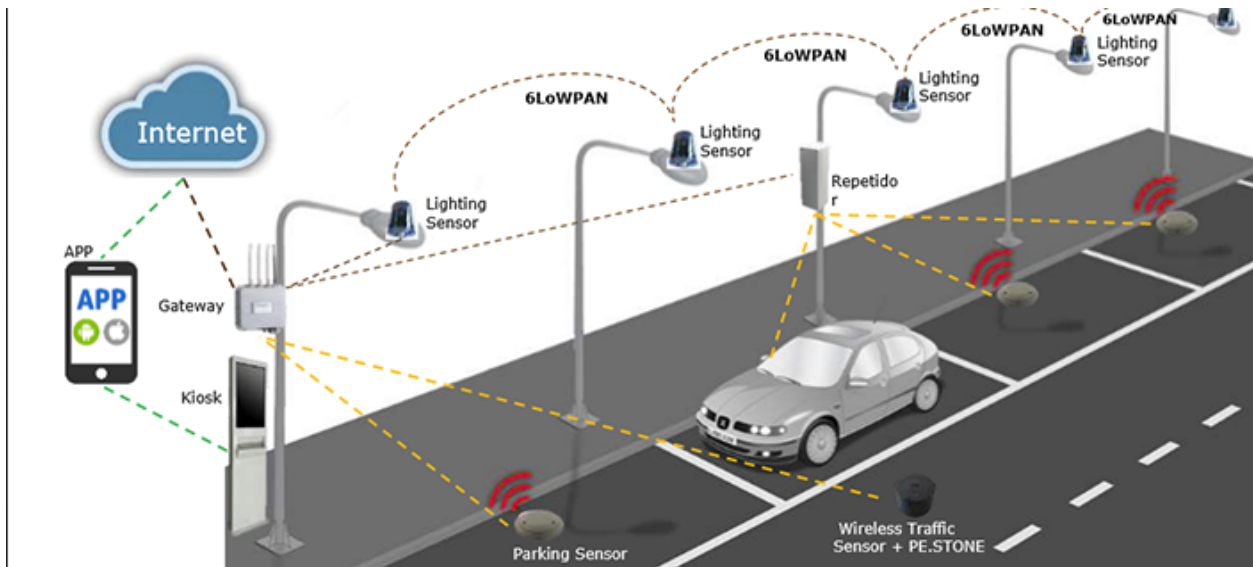


Рисунок 4 – Приклад роботи розумної системи паркування
Figure 4 – An example of a smart parking system

Програми діагностики.

Ця категорія зосереджена на наданні діагностичних послуг, які можуть використовувати різні типи датчиків для виявлення несправностей компонентів, що можуть призвести до поломки, у тому числі (1) датчики силової установки для перевірки стану та функціонування механічних компонентів і двигуна транспортного засобу в режимі реального часу, (2) датчики для контролю рівня палива, (3) хімічні датчики для перевірки якості рідин; (4) температурні датчики для перевірки температури рідин і газів; (5) датчики складу палива для моніторингу згоряння двигуна з метою зменшення забруднення; і (6) датчики для моніторингу споживання палива транспортним засобом. Цю категорію можна ще більше розширити, використовуючи комунікаційні технології для надсилання інформації безпосередньо в хмару або в зону обслуговування і ремонту транспортних засобів. Персональні реєстри транспортних засобів можуть використовуватися для моніторингу стану окремих частин транспортного засобу, а також для виявлення та запобігання можливим поломкам транспортних засобів.

Програми зчитування навколишнього середовища

Такі програми збирають інформацію з датчиків, встановлених на поверхні дорожнього покриття або над ним, для визначення дорожніх умов шляхом вимірювання таких параметрів, як температура дорожнього покриття, стан дорожнього покриття, хімічні речовини, тертя та зчеплення з дорогою.

Програми прогнозування погоди базуються на спостереженні, моніторингу та прогнозуванні погодних і дорожніх умов, а також на впровадженні відповідних управлінських дій для покращення досвіду водіння та зменшення впливу несприятливих умов. Дорожні метеорологічні програми використовуються для полегшення прийняття рішень щодо стратегії технічного обслуговування та надання порад водіям. Метеостанції та інфрачервоні датчики розміщуються на дорогах для моніторингу таких умов, як температура, опади, туман і дим, які можуть підвищити ризик для водіїв або вплинути на рішення щодо технічного обслуговування доріг.

Програми для контролю стану дорожнього покриття використовують інфрачервоні датчики для вимірювання інфрачервоного випромінювання, випромінюваного дорожнім покриттям, і застосовують інтелектуальну обробку сигналів для дистанційного вимірювання параметрів дороги,

таких як температура, вода, лід і сніг. Існують також програми моніторингу аномалій дорожнього покриття, які використовують такі датчики, як GPS, лазерні, інфрачервоні та акселерометричні датчики в транспортному засобі для виявлення аномалій, таких як ями і "лежачі поліцейські". Зібрана інформація використовується для створення карт аномалій для водіїв, а також для завдань технічного обслуговування та управління інфраструктурою, щоб забезпечити безпеку водіїв і комфорт для дорожніх служб.

Як зазначалося вище, жоден окремий додаток не може успішно створити ІТС. Повна інтеграція та обмін даними, підкріплені хмарними обчисленнями та інтелектуальними алгоритмами, дозволяють приймати рішення не тільки на основі транспортних потоків, але й на основі даних про навколишнє середовище та околиці, а також управління дорожнім рухом для досягнення збалансованого перерозподілу трафіку та зменшення забруднення в межах певної території, не впливаючи на інші райони. Критично важливо для додатків.

Програми для користувачів.

У категорії користувачів датчики відстежують роботу і поведінку водія, що важливо для безпеки дорожнього руху і зниження аварійності, використовуючи такі умови, як втома, рівень алкоголю і емоційні розлади (рисунк 5). Згідно з технічним звітом Американської автомобільної асоціації (AAA), водіння в стані сонливості є причиною 21% аварій зі смертельними наслідками і 13% аварій, що потребують госпіталізації, тоді як водіння в стані алкогольного сп'яніння є причиною 20% і 69% аварій зі смертельними наслідками для водіїв у країнах з високим і низьким рівнем доходу. За даними Національної адміністрації безпеки дорожнього руху (NHTSA), 10% смертельних аварій у 2014 році сталися через відволікання водія. Програми сповіщення про сонливість використовують камери для моніторингу рухів очей і голови, щоб виявити ознаки сонливості і запобігти аваріям. Радарні датчики відстежують рух автомобіля, щоб визначити, чи не рухається він нерівномірно. Інші датчики, такі як датчики кута повороту керма, можуть використовуватися для виявлення аномальної поведінки водія. Вібрації та звукові сигнали сповіщають водія. [8]

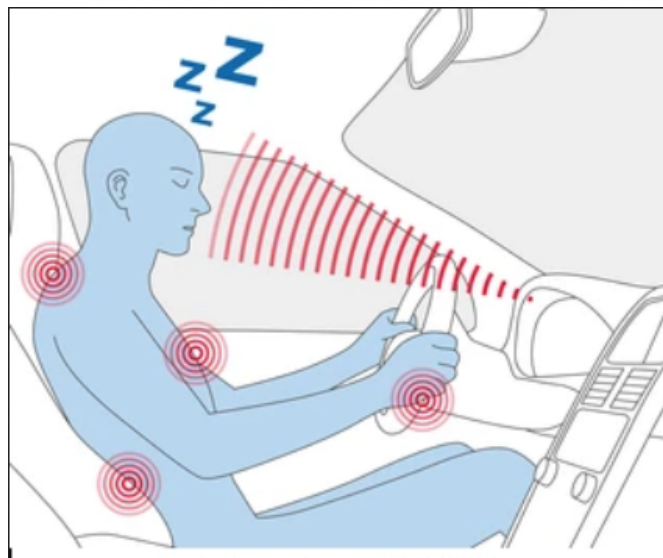


Рисунок 5 – Датчики системи моніторингу водія
Figure 5 – Driver monitoring system sensors

Система попередження водія використовує передню відеокамеру для спостереження за розміткою лівої та правої смуг руху і попереджає водія, якщо транспортний засіб відхиляється від смуги, допомагаючи знизити ймовірність аварії. Камери також можуть відстежувати ознаки втоми водія, якщо розмітку не видно або вона зникла. Водіїв попереджають звуковим сигналом і

миготливим повідомленням на приладовій панелі автомобіля. Деякі автори пропонують використовувати датчики ЕЕГ і штучний інтелект (ШІ) для виявлення втоми водія шляхом аналізу змін в ЕЕГ-сигналах мозку і виявлення аномальних станів.

Системи моніторингу стану здоров'я водія використовують теплові батареї, кремнієві фотодіоди, оптичні та інфрачервоні датчики зі світлодіодами для вимірювання життєво важливих показників, таких як температура серця, частота дихання і кров'яний тиск. Датчики розміщуються на кермі або сидінні. Якщо додаток виявляє проблему зі здоров'ям водія (наприклад, серцевий напад), він може автоматично викликати швидку допомогу; в літературі запропоновано кілька робіт з використанням датчиків ЕКГ і бездротових біосенсорних мереж.

Додатки для розпізнавання емоцій водія зосереджені на виявленні ознак розчарування і депресії, які заважають керувати автомобілем. Такі емоції, як високий і низький стрес, ейфорія і розчарування, з електроміограми (ЕМГ), електрокардіограми, дихання і датчиків електродермальної активності (ЕДА), в поєднанні з передовими алгоритмами, такими як машини опорних векторів (SVM) і адаптивні нейро-нечіткі інтерференційні системи (ANFIS), виявляють і класифікують емоції. Це можна зробити кількома способами. У зв'язку з цим було опубліковано кілька попередніх робіт, присвячених розпізнаванню емоцій водія, оцінці емоційних станів у змодельованих середовищах і оцінці стресу водія. Ці програми можна розділити на дві основні категорії. По-перше, виробники транспортних засобів повинні створювати непомітні датчики для водіїв і пасажирів (датчики в сидіннях, камери в стратегічних місцях), щоб зменшити напругу водія. З іншого боку, інтелектуальні алгоритми на основі штучного інтелекту, нейронних мереж, машинного навчання, комп'ютерного зору, хмарних обчислень, туманоутворення тощо можуть точно ідентифікувати різні емоційні стани і ненормальні фізичні стани водіїв і пасажирів та забезпечити інформування відповідних органів влади і призначених осіб. необхідно повідомляти відповідні органи і призначених осіб.

Приклад інтеграції сенсорних технологій з інформаційно-комунікаційними.

Представимо тематичне дослідження, яке показує, як сенсорні технології можна інтегрувати з інформаційно-комунікаційними технологіями для покращення транспортних систем і надання допомоги та підтримки, наприклад, коли автомобіль потрапив у ДТП через вибоїна раптово відкривається, і автомобіль застрягає всередині (рисунк 6) [8].

1. Системи моніторингу транспортних засобів використовують датчики всередині та зовні автомобіля, а також натільні датчики на пасажирів (наприклад, акселерометри для вимірювання горизонтального положення автомобіля, LIDAR для вимірювання відстані до удару, датчики удару для визначення сили удару, ЕКГ для вимірювання змін частоти серцевих скорочень пасажирів) для виявлення потенційно небезпечних ситуацій, але аварії неминучі неминучі, і автомобіль застрягає у щойно утвореній вибоїні на дорозі. Автомобіль негайно активує протоколи безпеки та захисту, щоб провести попередню оцінку ситуації.

2. Центральна система автомобіля активує протокол широкомовного сповіщення для інформування водіїв і пішоходів поблизу місця аварії, щоб вони могли вжити додаткових заходів безпеки (наприклад, зменшити швидкість, обрати альтернативний маршрут).

2а. Водночас, використовуючи алгоритми розпізнавання образів, що працюють з камерами спостереження, дорожня інфраструктура розпізнає ситуацію і відповідно до неї активує низку заходів безпеки. Наприклад, інтелектуальні світлофори змінюють стратегію управління світлом, забороняючи транспортним засобам виїжджати на дорогу або перекриваючи проїзд.

3. За допомогою натільних датчиків, прикріплених до пасажирів, центральна система автомобіля отримує інформацію та оцінює стан здоров'я пасажирів.

4. Після оцінки пошкоджень транспортного засобу та стану здоров'я пасажирів центральна система повідомляє наступні сторони: (I) страховика транспортного засобу, надсилаючи інформацію про місцезнаходження, номер страхового полісу та попередню оцінку пошкоджень на основі наданої інформації; (II) аварійні служби та інші, надсилаючи сповіщення про аварію, включаючи, але не

обмежуючись цим, кількість пасажирів, місцезнаходження пасажирів у транспортному засобі та ознаки життя кожного з них.

5. Вся інформація про ДТП, що генерується системами і протоколами транспортних засобів та дорожньої інфраструктури, передається і зберігається в хмарі та стає доступною для інформаційних систем, надаючи додаткову інформацію та попередження в режимі реального часу іншим водіям.

6. Служби визначення місцезнаходження, такі як: Google Maps, Apple Maps, та Waze, можуть використовувати цю інформацію для перерахунку нових або альтернативних маршрутів і запобігання заторам та іншим нещасним випадкам.

7. Центральна система надсилає сповіщення транспортній інфраструктурі (світлофори, екрани попередження, сигнали світлофора), щоб продовжувати надсилати сповіщення та оновлення щодо аварії, щоб інформувати водіїв та пішоходів про ситуацію.

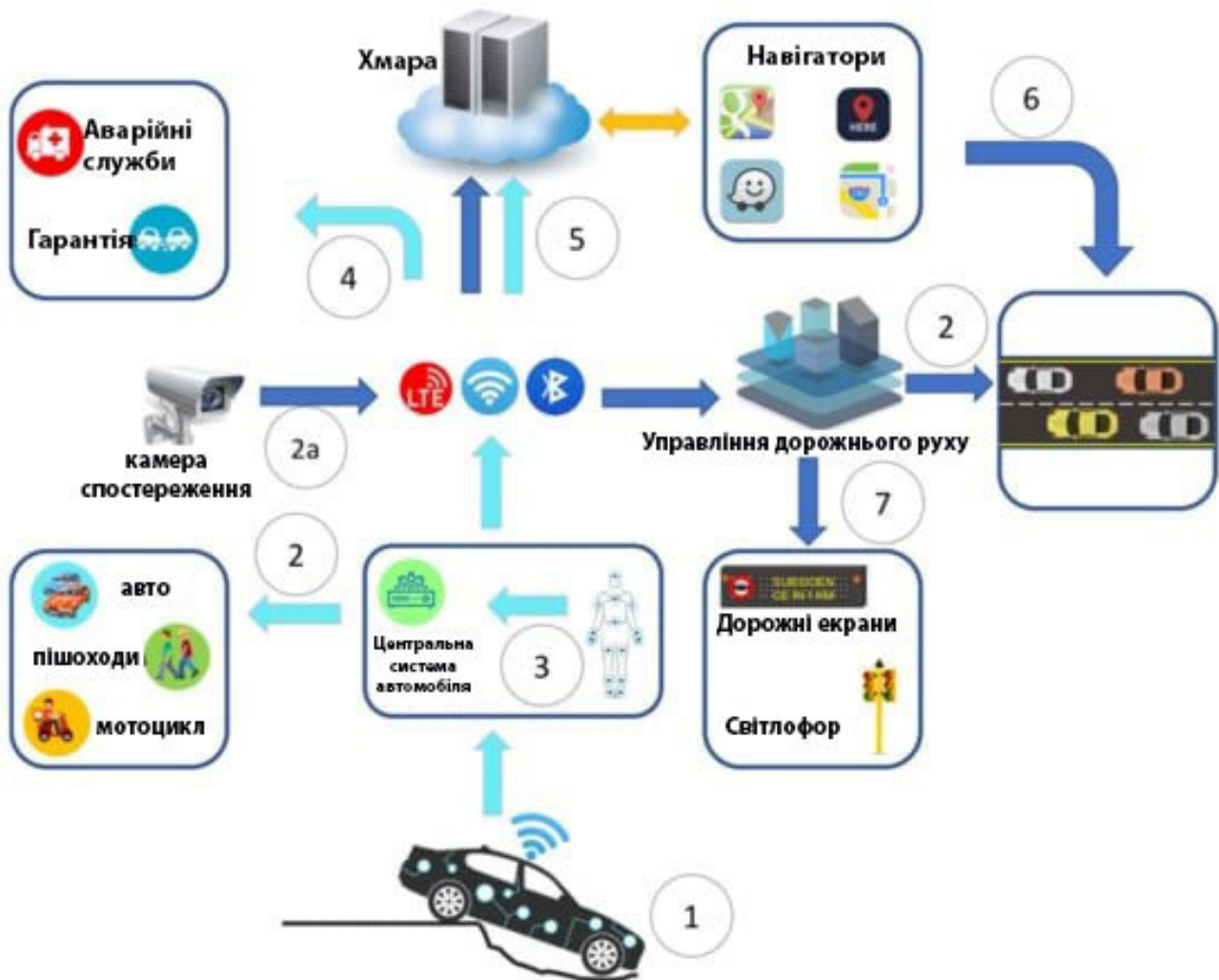


Рисунок 6 – Приклад сценарію «автомобіль потрапив у ДТП»

Figure 6 – An example of the scenario "the car was involved in a traffic accident"

Висновки

Датчики відіграватимуть важливу роль для ІТС як зараз так і у майбутньому. Їх використання дозволить розробити широкий спектр програм, таких як безпека дорожнього руху, розважальні системи управління дорожнім рухом і допомога водієві. Датчики забезпечують механізм збору даних, що стосуються стану транспортного засобу (наприклад, стан дороги, умови руху, стан транспортного засобу) і, при інтеграції з поточними системами дорожнього руху, можуть полегшити деякі з проблем, з якими стикалися минулі і сучасні системи дорожнього руху. Використання аналітичних і статистичних методів демонструє реальний потенціал інтеграції датчиків і ІТС. Така інтеграція є перспективним напрямком досліджень, який сприятиме розробці широкого спектру інтелектуальних додатків наступного покоління, спрямованих на підвищення безпеки та управління дорожнім рухом в існуючих і майбутніх транспортних системах.

Перелік посилань

1. Крутько Д. Київ — третє місто у світі, де найбільші затори. Скільки часу ми витрачаємо на дорогу? (дослідження) [Електронний ресурс] / Дар'я Крутько // «Хмарочос». – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/02/10/kyiv-tretye-misto-u-sviti-de-najbilshi-zatory-skilky-chasu-vytrachayut-kyuany-na-dorogu-doslidzhennya/>.
2. Кашканов, А.А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту : навчальний посібник / А.А. Кашканов, В.П. Кужель, О.Г. Грисюк. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 230 с.
3. Tire-pressure monitoring system [Електронний ресурс] // Wikipedia – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Tire-pressure_monitoring_system.
4. Бахур Н. Залучення інвестицій у відбудову транспортної галузі в Україні [Електронний ресурс] / Надія Бахур // Національний інститут стратегічних досліджень. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/zaluchennya-investytsiy-u-vidbudovu-transportnoyi-haluzi-v-ukrayini>.
5. NUOVA GAMMA TUCSON [Електронний ресурс] // Hyundai Motor Company – Режим доступу до ресурсу: https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundai/ever/Brochure_Nuova_Tucsonpdf.
6. Кривоніс О. П. Розумні технології покращують транспорт у містах [Електронний ресурс] / Олександр Петрович Кривоніс. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-tehnologii-uluchshayut-transport-v-gorodakh/>.
7. Smart Parking System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://in.nec.com/en_IN/solutions_services/intelligent_transport_solutions/smart_parking.html.
8. Guerrero-Ibáñez J. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems / J. Guerrero-Ibáñez, S. Zeadally, J. Contreras-Castillo. // Sensors. – 2018. – №18.

INTEGRATION OF SENSOR TECHNOLOGIES IN TRANSPORT SYSTEMS TO CREATE SUSTAINABLE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Boretskyi Vladyslav V., Postgraduate Student of the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University. e-mail: vladlenius88@gmail.com, tel. 380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 347a, <https://orcid.org/0000-0001-5525-4604>

Donets Veronika V., Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University. e-mail: nerik2008@ukr.net, tel. 380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 347a, <https://orcid.org/0000-0003-2353-0699>

Kovalchuk Oksana P., Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University. e-mail: kovalchukoksana30@gmail.com, tel. 380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 347a, <https://orcid.org/0000-0001-9456-8438>

Shumeiko Oleksii A., Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University. e-mail: shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, tel. 380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 347a, <https://orcid.org/0000-0003-2897-060X>

Abstract. Every day on the road, we face the problems of traffic jams, traffic safety and environmental pollution. All this is directly related to the quality and efficiency of transport systems. To solve these problems, information and communication technologies are used, which are increasingly integrated into modern transport systems. Car manufacturers are developing automotive sensors to improve vehicle safety, traffic management and to develop infotainment systems. Government agencies, in turn, are deploying roadside infrastructure, installing CCTV cameras and road sensors to collect environmental and traffic data. Thanks to the seamless integration of sensor technologies into vehicles, their sensor and communication capabilities can be used to create intelligent transport systems.

The article discusses the prospects of using sensor sensors to ensure the efficiency of the functioning of transport systems and transport infrastructure as a whole.

An analysis of the types of sensors was carried out depending on the object of use - for vehicles and for roads. The programs to ensure the operation of certain sensors are considered separately by category.

The process of integration and operation of sensor technologies with information and communication technologies to ensure the effective functioning of the intelligent transport system is considered as an example.

Having drawn a conclusion from the conducted research, it can be assumed that the development of sensor technologies and their integration into the transport system will significantly increase the safety of traffic participants and increase the efficiency of the transport system as a whole.

Key words: sensors; programs; car; ITS; system.

References

1. Krutko D. Kyiv is the third city in the world with the biggest traffic jams. How much time do we spend on the road? (research) [Electronic resource] / Darya Krutko // "Skyscraper". – 2022. – Mode of access to the resource: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/02/10/kyiv-tretye-misto-u-sviti-de-najbilshi-zatory-skilky-chasu-vytrachayut-kyiany-na-dorogu-doslidzhennya/> [in Ukrainian].
2. Kashkanov, A.A. Information computer systems of road transport: study guide / A.A. Kashkanov, V.P. Kuzhel, O.G. Hrysyuk – Vinnytsia: VNTU, 2010. – 230 p. [in Ukrainian].
3. Tire-pressure monitoring system [Electronic resource] // Wikipedia - Resource access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Tire-pressure_monitoring_system.
4. Bahur N. Attracting investments in the reconstruction of the transport industry in Ukraine [Electronic resource] / Nadiya Bahur // National Institute of Strategic Research. – 2022. – Mode of access to the resource: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/zaluchennya-investytsiy-u-vidbudovu-transportnoyi-haluzi-v-ukrayini> [in Ukrainian].
5. NUOVA GAMMA TUCSON [Electronic resource] // Hyundai Motor Company - Resource access mode: https://s7g10.scene7.com/is/content/hyundai/autoever/Brochure_Nuova_Tucsonpdf.
6. Kryvonis O. P. Smart technologies improve transport in cities [Electronic resource] / Oleksandr Petrovych Kryvonis. – 2021. – Resource access mode: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-tekhnologii-uluchshayut-transport-v-gorodakh/> [in Ukrainian].
7. Smart Parking System [Electronic resource] – Resource access mode: https://in.nec.com/en_IN/solutions_services/intelligent_transport_solutions/smart_parking.html.
8. Guerrero-Ibáñez J. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems / J. Guerrero-Ibáñez, S. Zeadally, J. Contreras-Castillo. // Sensors. – 2018. – №18.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ БЕЗПЕКИ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ

IMPROVING THE METHODOLOGY OF EXPERT SAFETY LEVEL ASSESSMENT
OF ROAD TRAFFIC



Мельниченко Олександр Іванович, Заслужений працівник освіти України, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: melnychenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянчик-Павленко 1,

<https://orcid.org/0000-0001-9694-9824>

Анотація. Стаття присвячена удосконаленню методики експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху. Виконано загальний аналіз методів та методик оцінювання рівня безпеки дорожнього руху. Запропоновані шляхи до вдосконалення методики експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху, що базується на використанні комбінації статистичних та проактивних моделей.

Об'єктом дослідження у статті є процес оцінювання рівня безпеки дорожнього руху на конкретній ділянці у визначений час.

Мета дослідження – удосконалення методики експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху на основі аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду.

В статті загальний аналіз методів та методик оцінювання рівня безпеки дорожнього руху. Встановлено, що показники більшість з розроблених методів та методик оцінки рівня безпеки базуються на одному з двох методологічних підходів – використанні статистичних та реактивних методів та моделей або проактивних та прогностичних методів та моделей. Проте, визначено, що аналізовані методи та методики здебільшого не встановлюють вплив зовнішніх умов, зокрема, змінних дорожніх факторів при оцінюванні рівня безпеки дорожнього руху. Запропоновано авторський підхід – методика експертної оцінки безпеки дорожнього руху, яка базується на використанні комбінації статистичних та проактивних моделей та враховує вагомість та пріоритетність того чи іншого засобу пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху. Запропоновано алгоритм оцінювання безпеки дорожнього руху за розробленою методикою. Розроблена методика експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо проєктів та програм з безпеки дорожнього руху за рахунок врахування обґрунтованих факторів впливу та відносного скорочення часу на проведення експертизи. Запропоновано комбінувати використання розробленої методики з аналізом встановленого рівня безпеки дорожнього руху за «метеликовим» або «пелюстковим» підходом.

Ключові слова: безпека дорожнього руху, методика експертної оцінки, ДТП, засоби пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху

Вступ

Відповідно до статистики Всесвітньої організації охорони здоров'я щороку в ДТП гинуть 1,35 мільйона людей, 20-50 – мільйонів людей отримують серйозні травми. При цьому біля 93 % смертельних випадків припадає на країни, що розвиваються, незважаючи на те, що в цих країнах знаходиться лише 50 % легкових і вантажних автомобілів світу [1]. Для боротьби з дорожньо-транспортними пригодами країни розробили та впроваджують різноманітні програми безпеки дорожнього руху.

Згідно світової практики програми, що базуються на моделях прогнозування аварій, є проактивним і кількісним засобом забезпечення безпеки дорожнього руху. Вони виконують важливу функцію запобігання «чорним плямам» у зв'язку з настанням ДТП на ділянці автомобільної дороги. З іншого боку, програми управління «чорними плямами» є реактивним і якісним заходом забезпечення безпеки дорожнього руху, що базуються на методиках аналізу історичних даних про ДТП для визначення місць із високою частотою аварій, аналізу факторів, що сприяють цьому, і пошуку заходів протидії. Таким чином, розробка ефективної методики експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху, що базуватиметься на досвіді реалізації обох програм, є актуальною в сучасних умовах.

Постановка завдання

Метою статті є удосконалення методики експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху на основі аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду.

Виклад основного матеріалу

Оцінка рівня безпеки дорожнього руху відіграє вирішальну роль у теорії та практиці управління проектами та програмами з безпеки дорожнього руху. Зокрема, у світовій та вітчизняній практиці застосовуються різноманітні методи та моделі оцінювання рівня безпеки дорожнього руху. Так, визнаною технікою у сфері безпеки дорожнього руху є аналіз охоплення даних (Data Envelopment Analysis – DEA) [1]. Європейською радою з безпеки на транспорті (ETSC) для оцінювання рівня безпеки дорожнього руху була розроблена Концепція показників ефективності безпеки (SPI) [2]. Також широкого розповсюдження набув метод математичного моделювання ДТП (SEM) [1].

Більшість з розроблених методів та методик оцінки рівня безпеки дорожнього руху базуються на одному з двох методологічних підходів – аналізі зафіксованих випадків ДТП (статистичні або реактивні методи та моделі) та оцінюванні вбудованої безпеки доріг (проактивні або прогностичні методи та моделі) [3]. Проте, ці методи та методики здебільшого не встановлюють вплив зовнішніх умов, зокрема, змінних дорожніх факторів при оцінюванні рівня безпеки дорожнього руху [4]. Таким чином, пропонується авторська методика експертної оцінки безпеки дорожнього руху, яка базується на використанні комбінації статистичних та проактивних моделей.

Методика експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху включає основних вісім етапів [4]:

Етап 1. Ідентифікація ділянки. Встановлення меж ділянки, на якій оцінюють безпеку дорожнього руху.

Етап 2. Оцінювання якісного стану засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху.

Етап 3. Встановлення факту наявності необхідних засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху.

Етап 4. Призначення балів технічним засобам за 30-ти бальною шкалою, яка була встановлена в дослідженні [4] методом статистичної обробки та визначення вагових коефіцієнтів (табл. 1).

Таблиця 1 – Шкала умовних балів для технічних засобів
Table 1 – Scale of conventional points for technical elements

№ п/п	Технічний засіб	Присвоєний умовний бал, w_i
1	2	3
1	Знаки дорожні	30
2	Розмітка дорожня	30
3	Світлофор ¹	7
4	Напрямні стовпчики	2
5	Огородження дорожнє	17
6	Засіб примусового зниження швидкості ¹	4
7	Протизасліплювальні екрани ²	4
8	Шумові смуги	4
9	Інші засоби ³	2

Примітка 1. Технічні засоби призначаються тільки у межах населених пунктів.
Примітка 2. Призначаються на автодорогах Іа, Іб категорії при умові наявності бар'єрного або парпетного огороження на розділювальній смузі.
Примітка 3. Заходи, що призначаються вкрай рідко (обрізка дерев, очищення покриття від бруду, ліквідація неорганізованих «диких» з'їздів тощо).

Етап 5. Експертне оцінювання засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху за методом понижуючих коефіцієнтів. Пропонується наступний набір критеріїв оцінювання (табл. 2).

Таблиця 2 – Визначення значення понижуючого коефіцієнту
Table 2 – Determination of the value of the lowering coefficient

№ п/п	Технічний засіб	Шифр коефіцієнту	Критерій	
			Опис критерію	Значення
1	2	3	4	5
1	Знаки дорожні	K_1	відсутній	0,25
			не достатньо видний у світлий час доби	0,75
			відповідає всім параметрам або не передбачено Проектом організації дорожнього руху (ПОДР)	1,00
2	Розмітка дорожня	K_2	відсутня	0,25
			не достатньо видна у світлий час доби	0,75
			відповідає всім параметрам або не передбачена ПОДР	1,00
3	Світлофор	K_3	передбачений ПОДР, але відсутній або не працює	0
			передбачений ПОДР та працює або не передбачено ПОДР	1,00
4	Напрямні стовпчики	K_4	відсутні	0
			небезпечні	0,25
			мало небезпечні	0,75
			відповідає всім параметрам або не передбачена ПОДР	1,00

Продовження табл.2
Continuation of table 2

5	Огородження дорожнє	K_5	відсутнє	0
			небезпечне	0,25
			мало небезпечне	0,75
			безпечне або не передбачено ПОДР	1,00
6	Засіб примусового зниження швидкості	K_6	відсутні	0
			не відповідають параметрам	0,50
			мало небезпечні або не передбачено ПОДР	1,00
7	Проти-засліплювальні екрани	K_7	відсутні	0
			не відповідають параметрам	0,50
			мало небезпечні або не передбачено ПОДР	1,00
8	Шумові смуги	K_8	передбачені ПОДР, але відсутні	0,25
			передбачені ПОДР, але не відповідають вимогам	0,50
			передбачені ПОДР, відповідають вимогам або не передбачено ПОДР	1,00
9	Інші засоби, наприклад, деформативність стояків дорожніх знаків	K_9	небезпечно	0,25
			мало небезпечно	0,75
			безпечно	1,00

Етап 6. Розрахунок підсумкової кількості балів:

$$R = 100 - \sum_{i=1}^{i=9} (w_i \times K_i); w_i \in [1; 30]; K_i \in [0; 1], \quad (1)$$

де w_i – присвоєний умовний бал i -тому технічному засобу відповідно до таблиці 1;

K_i – понижуючий коефіцієнт, визначений для i -того технічного засобу відповідно до таблиці 2.

Етап 7. Встановлення рівня безпеки дорожнього руху (табл. 3.).

Таблиця 3 – Показники рівня безпеки ділянок автомобільних доріг

Table 3 – Indicators of the safety level of highway sections

Кількість балів	Критерій оцінювання	Рівень безпеки руху
1	2	3
0–25	Засоби пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху встановлено згідно дислокації, відповідають нормативним вимогам, матеріали з безпечним рівнем деформативності	Безпечний
25–50	Засоби пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху у наявності, деякі потребують оновлення	Малонебезпечний

Продовження табл.3
Continuation of table 3

50–75	Засоби пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху частково відсутні, існуючі потребують оновлення або заміни	Небезпечний
75–100	Практично повна (або повна) відсутність засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху. Існуючі недостатньо видимі або чимось загороджені. Засоби пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху з небезпечним рівнем деформативності	Дуже небезпечний
Примітка. У таблиці сформульовано основні (типові) критерії, проте вони можуть змінюватися та компонуватися		

Етап 8. Оформлення результатів розрахунку. Прийняття управлінських рішень щодо забезпечення безпеки дорожнього руху.

Алгоритм оцінювання рівня безпеки дорожнього руху наведений на рисунку 1.



Рисунок 1 – Алгоритм оцінювання рівня безпеки дорожнього руху

Figure 1 – Algorithm for evaluating the level of road safety

Використання методики має свої особливості відповідно до вихідної інформації. Таким чином, запропоновано шляхи застосування алгоритму з урахуванням наступних ситуацій (табл. 4) [4]:

Таблиця 4 – Ситуаційний підхід до використання методики
Table 4 – Situational approach to the use of the technique

Ситуація	Опис умов на оцінюваній ділянці щодо наявності засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху		Порядок застосування алгоритму
	Відповідно до проекту з організації дорожнього руху	Фактична наявність	
1	2	3	4
<i>Ситуація 1</i>	Наявні	Відсутні	підрховуємо за ПОДР всі передбачені ЗППЗ ДР та віднімаємо від 100; проводимо розрахунок інтенсивності руху; проводимо розрахунок за підсумковою формулою підставляючи отримані дані. Отриманий результат заносимо до таблиці
<i>Ситуація 2</i>	Наявні	Частково	підрховуємо відсутні ЗППЗ ДР балами; проводимо розрахунок інтенсивності руху; оцінюємо наявні ЗППЗ ДР за понижуючими коефіцієнтами; проводимо розрахунок за підсумковою формулою підставляючи отримані дані. Отриманий результат заносимо до таблиці
<i>Ситуація 3</i>	Наявні	Наявні	ділянка автодороги вважається безпечною з точки зору дорожнього фактору, дослідження можна не проводити
<i>Ситуація 4</i>	Наявні	Наявні, але виявлено відхилення від норми	проводимо розрахунок інтенсивності руху; оцінюємо наявні ЗППЗ ДР за понижуючими коефіцієнтами; проводимо розрахунок за підсумковою формулою підставляючи отримані дані, де ЗППЗ ДР приймаємо за 100. Отриманий результат заносимо до таблиці

Результати експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху за розробленою методикою пропонується візуалізувати за «метеликовим» або «пелюстковим» підходом [5], який відображає зв'язок між джерелами ризику та наслідками роботи засобів пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху. Зразок реалізації такого підходу наведено на рис. 2.

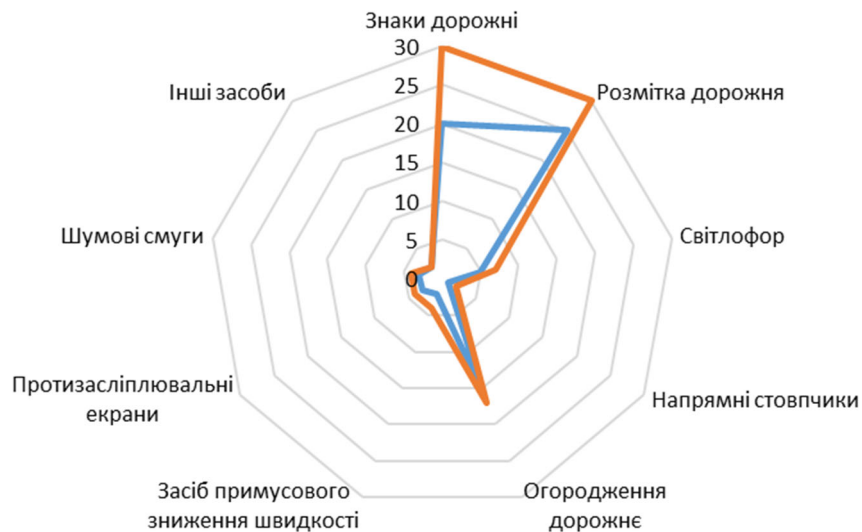


Рисунок 2 – «Пелюстковий» аналіз результатів експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху

Figure 2 – "Petal" analysis of the results of the expert assessment of the road safety level

За результатами оцінювання можна робити висновок про відповідність або невідповідність нормативу того чи іншого засобу пасивного протиаварійного забезпечення дорожнього руху.

Висновок

Розроблена методика експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху дозволяє значно підвищити якість процесу оцінювання рівня безпеки руху ділянки автомобільної дороги за рахунок врахування обґрунтованих факторів впливу та відносного скорочення часу на проведення експертизи. Методика технічно поєднує статистичні та проактивні моделі оцінювання рівня безпеки дорожнього руху. Запропоновано за результатами експертної оцінки рівня безпеки дорожнього руху за розробленою методикою здійснювати подальший аналіз за «метеликовим» або «пелюстковим» підходом. Подальші дослідження в цьому напрямку стосуватимуться можливостей використання розробленої методики як інструменту формування програми з безпеки дорожнього руху.

Перелік посилань

1. Syeed Adnan Raheel Shah, Naveed Ahmad, Yongjun Shen, Ali Pirdavani, Muhammad Aamir Basheer and Tom Brijs. Road Safety Risk Assessment: An Analysis of Transport Policy and Management for Low-, Middle-and High-Income Asian Countries. Sustainability 2018, 10, 389; doi:10.3390/su10020389
2. European Transport Safety Council (ETSC). Transport Safety Performance Indicators; European Transport Safety Council: Brussels, Belgium, 2001.
3. Network Wide Road Safety Assessment Methodology and Implementation Handbook. National Technical University of Athens, University of Zagreb, FRED Engineering s.r.l. January – 2023, 95 p.
4. Осипов В.О., Мельниченко О.І. Удосконалення методу оцінки безпеки дорожнього руху на окремих ділянках автомобільних доріг: монографія. – К.: НТУ, 2019. – 172 с.
5. Aneziris, O.; Papazoglou, I. Bowites for occupational risk management. In Total Safety and the Productivity Challenge, 1st ed.; Leva, M.C., Kontogiannis, T., Gerbec, M., Aneziris, O., Eds.; Routledge: London, UK, 2019; pp. 69–84.

IMPROVING THE METHODOLOGY OF EXPERT SAFETY LEVEL ASSESSMENT OF ROAD TRAFFIC

Melnichenko Oleksand I., Honored Worker of Education of Ukraine, Candidate of Science in Engineering, Professor, National Transport University, the Head of the Department Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, tel. +38(050)6562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, <https://orcid.org/0000-0001-9694-9824>

Abstract. The article is devoted to the improvement of the method of expert safety level assessment of road traffic. A general analysis of road safety assessment methods and techniques was performed. Proposed ways to improve the methodology of expert assessment of the level of road safety based on the use of a combination of statistical and proactive models.

The object of research in the article is the process of assessing the level of road traffic safety in a specific area at a certain time.

The purpose of the study is to improve the methodology of expert assessment of the level of road safety based on the analysis of foreign and domestic experience.

The article provides a general analysis of road safety assessment methods and techniques. It has been established that the indicators of most of the developed methods and techniques for assessing the level of security are based on one of two methodological approaches - the use of statistical and reactive methods and models or proactive and prognostic methods and models. However, it was determined that the analyzed methods and techniques mostly do not establish the influence of external conditions, in particular, variable road factors when assessing the level of road safety. The author's approach is proposed - a method of expert evaluation of road traffic safety, which is based on the use of a combination of statistical and proactive models and takes into account the importance and priority of one or another means of passive anti-accident protection of road traffic. An algorithm for evaluating road traffic safety according to the developed methodology is proposed. The developed method of expert assessment of the level of road safety allows you to make informed management decisions regarding projects and programs on road safety due to the consideration of justified factors of influence and a relative reduction in the time for conducting an examination. It is proposed to combine the use of the developed methodology with the analysis of the established level of road traffic safety using the "bow-tie" or "petal" approach.

Key words: traffic safety, expert assessment methodology, road accident, passive traffic accident prevention measures

References

1. Syed Adnan Raheel Shah, Naveed Ahmad, Yongjun Shen, Ali Pirdavani, Muhammad Aamir Basheer and Tom Brijs. Road Safety Risk Assessment: An Analysis of Transport Policy and Management for Low-, Middle-and High-Income Asian Countries. Sustainability 2018, 10, 389; doi:10.3390/su10020389
2. European Transport Safety Council (ETSC). Transport Safety Performance Indicators; European Transport Safety Council: Brussels, Belgium, 2001.
3. Network Wide Road Safety Assessment Methodology and Implementation Handbook. National Technical University of Athens, University of Zagreb, FRED Engineering s.r.l. January – 2023, 95 p.
4. Osypov V.O., Melnychenko O.I. Udokonalennia metodu otsinky bezpeky dorozhnoho rukhu na okremykh diliankakh avtomobilnykh dorih: monohrafiia. – K.: NTU, 2019. – 172 s. [in Ukrainian].
5. Aneziris, O.; Papazoglou, I. Bowites for occupational risk management. In Total Safety and the Productivity Challenge, 1st ed.; Leva, M.C., Kontogiannis, T., Gerbec, M., Aneziris, O., Eds.; Routledge: London, UK, 2019; pp. 69–84.

УДК 621.879
UDC 621.879

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-164-171

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ВИБІРКОВОГО
КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ТРУБОПРОВОДІВ

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR PERFORMING SELECTIVE CAPITAL REPAIR
OF PIPELINES



Білякович Микола Олексійович, Заслужений працівник народної освіти України, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, тел.: +380505027522,

<https://orcid.org/0009-0000-2760-0127>



Варфоломєєв Юрій Михайлович, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, тел. +380964755574,

<https://orcid.org/0000-0001-5388-6624>



Високович Євген Вадимович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: y.vysokovych@ntu.edu.ua, тел.: +380677537367,

<https://orcid.org/0000-0002-6522-4537>



Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: kandr6104@gmail.com, тел.: +380500240894,

<https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, [SCOPUS id 57220055768](https://scopus.org/scopus/authid/detail.url?authorId=57220055768)



Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: musvd48@gmail.com, тел.: +380501040262,

<https://orcid.org/0000-0001-9983-3296>, [SCOPUS id 57221283646](https://scopus.org/scopus/authid/detail.url?authorId=57221283646)

Анотація. У статті наведено аналіз технічного стану магістральних трубопроводів та технологій виконання вибіркового капітального ремонту їх лінійної частини. Відомі технологічні схеми виконання вибіркового ремонту трубопроводів не передбачають ефективного ущільнення ґрунту після його проведення в зв'язку з відсутністю технічних засобів для ефективного і

рівномірного ущільнення ґрунту. Відсутність ущільнення ґрунту під відремонтованим трубопроводом призводить до його неконтрольованого просідання відносно лінії вихідного залягання, що може викликати аварійну ситуацію. З метою забезпечення якісного, швидкого і безпечного виконання всього комплексу земляних робіт при вибіркового капітальному ремонті магістральних трубопроводів одним екскаватором спроектований, виготовлений і випробуваний дослідно-промисловий універсальний комплект змінного робочого обладнання для однокішшевого гусеничного екскаватора масою 20 тонн. Комплект змінного обладнання складається з підкопувального обладнання, ущільнювального обладнання, ківша для виконання земляних робіт під час розкриття трубопроводу і засипання ґрунту в траншею, універсального захвату для кріплення змінного устаткування до рукояті однокішшевого екскаватора, системи позиціонування і контролю положення змінного обладнання відносно труби. Технологія виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів і комплекс технологічного обладнання для її здійснення запатентовані в Україні. Продуктивність роботи підкопувального обладнання становить 35...55 м³/год, продуктивність ущільнюючого обладнання – 35...45 пог. м/год. Використання комплекту обладнання дозволяє одним екскаватором виконати весь комплекс земляних робіт під час вибіркового капітального ремонту магістральних газопроводів діаметром 530...1420 мм.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, земляні роботи, ущільнення ґрунту, вибіркового ремонт трубопроводів, технологічне обладнання, змінне обладнання.

Вступ. Газотранспортна система України, за виключенням газопроводів місцевого значення, складає понад 40 тисяч кілометрів. Близько 80% загальної протяжності газопроводів відпрацювало свій гарантійний ресурс в 25 років, а більше 50% газопроводів потребує негайного капітального ремонту.

Роль трубопровідного транспорту в світі вийшла за межі лише забезпечення вантажообігу енергоносіїв в середині країни та за її межами. На перший план виходить політична складова його застосування як важеля впливу на міжнародному рівні. Недавні події, пов'язані з транзитом газу через Україну, підтверджують важливість енергетичної дипломатії.

Проблема забезпечення надійної експлуатації магістральних трубопроводів давно відома та знайшла своє відображення в «Енергетичній стратегії України до 2030 року» [1].

Про необхідність вирішення цього питання мова іде, завжди чи при розгляді питання реструктуризації НАК «Нафтогаз України», чи питання створення газотранспортного консорціуму в рамках договору «Європейська енергетична хартія» [2].

Однією з головних задач компаній, що експлуатують магістральні трубопроводи, є забезпечення надійності і безпеки експлуатації труби. Основним методом рішення цієї задачі є своєчасний ремонт ізоляційного покриття трубопроводів. Традиційні технології капітального ремонту передбачають підйом труби, її підтримку, потребують залучення значної кількості землерийної техніки (бульдозерів, екскаваторів), кваліфікованого персоналу, є трудомісткими, малопродуктивними та вельми затратними.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. Існуючі технології вибіркового капітального ремонту магістральних трубопроводів цілком не вирішують питання безпеки і якості виконання робіт [3, 4]. Аварійні ситуації не виключаються при розкритті труби екскаваторами, тому що безпека виконання цієї операції залежить винятково від кваліфікації машиніста. Підйом трубопроводу з ґрунтового ложа викликає непередбачені зміни напруженого стану труби, знижує гарантії надійності і якості як металу труби та і зварних стиків.

Відомі технологічні схеми виконання вибіркового (довжина ділянки, що ремонтується від десяти до декількох сотень метрів) капітального ремонту труби з підйомом її трубоукладачами на бровку траншеї, де і виконують ремонтні роботи, або проведення ремонту труби в траншеї при її утриманні близько до лінії вихідного залягання. Утримання здійснюється трубоукладачами, або шляхом встановлення під трубою додаткових опор. Опори важко і витратно як встановити, так і після

виконаного ремонту демонтувати. Грунтові призми-перемички під трубою також виключають виникнення в ремонтній трубі неконтрольованих додаткових напружень.

Недоліком такої технології є те, що в зв'язку з відсутністю технічних засобів для ефективного і рівномірного ущільнення ґрунту під відремонтованою трубою, ремонт ділянок трубопроводу в зоні ґрунтових призм-перемичок має бути проведений не раніше, ніж через 4...6 місяців після ремонту основних його ділянок. Цей термін визначається тривалістю необхідного природного ущільнення ґрунту в зонах вже виконаних робіт, що дає можливість виключити появу додаткових напружень і деформацій магістральних трубопроводів.

Земляні роботи при капітальному ремонті трубопроводів, виконуються традиційною будівельною землерийною технікою: бульдозерами, екскаваторами, спеціальними електричними машинами для підкопування ґрунту під трубопроводами. Деякі з робіт, виконання яких в обов'язковому порядку перебачено чинними нормативними документами, не виконуються взагалі, або виконуються вручну з явними порушеннями вимог до якості їх виконання.

Ефективного і безпечного в роботі обладнання для підкопування коротких ділянок газопроводу, або для спорудження шурфів в ґрунті навколо газопроводів не існує [5]. Відсутність ущільнення ґрунту під відремонтованим трубопроводом призводить до його неконтрольованого після ремонту просідання відносно лінії вихідного залягання. Наслідок цього – виникнення не контрольованих напруги і деформацій в тілі труби, що абсолютно не припустимо після ремонту.

Мета дослідження. Створення технологічного обладнання для виконання вибіркового капітального ремонту магістральних трубопроводів.

Основна частина. З метою забезпечення якісного, швидкого і безпечного виконання всього комплексу земляних робіт при вибіркового капітальному ремонті магістральних трубопроводів (довжина ділянки ремонту 5...150 м і більше) з дотриманням вимог діючих нормативних документів [6] одним екскаватором з нашою участю був спроектований, виготовлений і випробуваний дослідно-промисловий універсальний комплект змінного робочого обладнання для однокішшевого гусеничного екскаватора масою 20 тонн. Використання комплексу обладнання дозволяє одним екскаватором виконати весь комплекс земляних робіт під час вибіркового капітального ремонту магістральних газопроводів діаметром 530...1420 мм.

Обладнання створено в результаті виконання комплексу науково-дослідних робіт, спрямованих на пошук оптимальних технічних рішень, які знайдені і покладені в основу конструкції змінного обладнання. Технічні рішення, реалізовані в конструкціях обладнання [7, 8], пройшли експериментальну перевірку на стенді фізико-математичного моделювання Національного транспортного університету.

Комплект змінного обладнання складається з:

- підкопувального обладнання для видалення материкового ґрунту з-під трубопроводу діаметром 530...1420 мм при його розкритті (рис. 1);
- ущільнювального обладнання для ущільнення ґрунту під трубопроводом діаметром 530...1420 мм після його ремонту (рис. 2);
- ківша для виконання земляних робіт під час розкриття трубопроводу і засипання ґрунту в траншею перед використанням ущільнювального обладнання;
- універсального захвату для кріплення будь-якого з вище зазначених видів змінного устаткування до рукояті однокішшевого екскаватора;
- системи позиціонування і контролю положення змінного обладнання відносно труби та забезпечення безаварійного виконання ремонтних робіт на трубопроводах створеним змінним обладнанням.

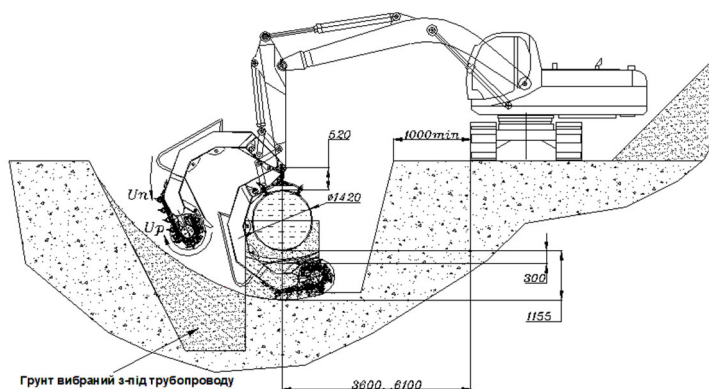


Рисунок 1 – Підкопувальне обладнання.
Figure 1 – Excavation equipment.

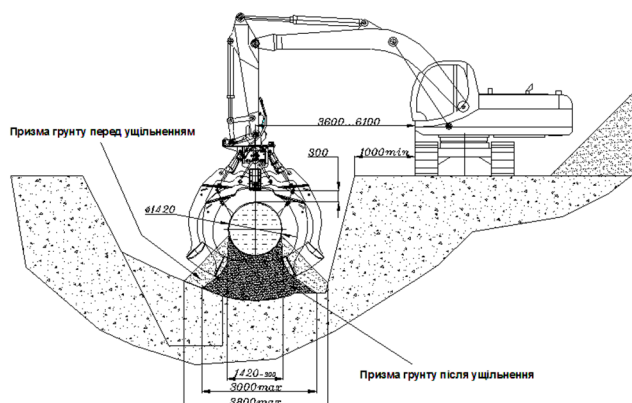


Рисунок 2 – Ущільнювальне обладнання.
Figure 2 – Compaction equipment.

Розміри профілю виїмки в ґрунті обабіч трубопроводу спорудженої з використанням змінного обладнання до екскаватора, повинні забезпечувати можливість безпечного виконання робіт по ремонту тіла труби, зварних з'єднань трубопроводу, встановлення підсилюючих муфт та бандажів, зняття старого та нанесення нового ізоляційного покриття. Роботи повинні виконуватися у відповідності до вимог відомих будівельних норм [9]. Розміри приямку виїмки, який споруджується з однієї сторони трубопроводу, повинні бути такими, щоб в ньому можна було розмістити весь об'єм ґрунту, який видаляється з-під трубопроводу з урахуванням коефіцієнту його розпушування [10].

Розміри споруджуваної виїмки з приямком залежать від діаметра трубопроводу, ґрунтових умов в зоні його прокладання та вказуються в проекті виконання робіт (ПВР).

Розроблений мінеральний ґрунт складається на полосі відводу в місці, передбаченому ПВР з однієї сторони відносно поздовжньої вісі трубопроводу.

Друга сторона виїмки розробляється цим же екскаватором після закінчення робіт на попередньому місці стоянки та переїзду екскаватора на іншу сторону трубопроводу. Складання розробленого ґрунту – в той же відвал, що і в попередньому випадку.

Ефективність запропонованих технічних рішень підтверджується тим, що щільність ґрунту під трубою після її ремонту забезпечується в межах міцності ґрунту на стиск $0,93...0,98 \sigma_{cm}$ ґрунту в цілику, відсутністю після ущільнення ґрунтових порожнин під трубою. Нове ізоляційне покриття труби при цьому не пошкоджується. Ущільнення виконується за один прохід машини вздовж відремонтованої ділянки трубопроводу.

Переустановлення на екскаваторі одного виду обладнання на інший здійснюється за допомогою універсального захвату, що не вимагає значних зусиль і виконується протягом декількох хвилин.

Устаткування може бути встановлено на повноповоротному гусеничному гідравлічному екскаваторі масою не менше 20 тонн будь-якого виробника. Пробну експлуатацію обладнання було здійснено при установці його на екскаваторі JCB JS 220. Устаткування здатне працювати в ґрунтах I-IV категорій.

Основні переваги застосування комплексу змінного обладнання:

1. Всі роботи виконуються в строгій відповідності з діючими нормативними документами, що регламентують виконання вибіркового капітального ремонту магістральних трубопроводів.

2. Комплект змінного обладнання дозволяє механізувати на сучасному рівні повний цикл виконання земляних робіт при вибіркового капітальному ремонті магістральних газопроводів, використовуючи при цьому практично один екскаватор.

3. Темпи виконання земляних робіт при вибіркового капітальному ремонті магістральних трубопроводів збільшується в десятки разів. Продуктивність роботи підкопувального обладнання становить $35...55 \text{ м}^3/\text{год}$, продуктивність ущільнюючого обладнання – $35...45 \text{ пог. м}/\text{год}$.

4. Використання комплексу змінного обладнання різко підвищує безпеку виконання ремонтних робіт на трубопроводах, дозволяє уникнути зміни напруженого стану трубопроводу під час ремонту і при подальшій його експлуатації.

Роботоздатність та ефективність запропонованих конструкцій машин та комплексу змінного обладнання доведена в процесі їх дослідно-промислової експлуатації. Вказані розробки, на наш погляд, слід відносити до інноваційних. Однак потребують додаткового вивчення та вирішення питання забезпечення ефективної роботи машин та обладнання в ґрунтах з різними фізико-механічними властивостями (перезволожені липкі ґрунти, мерзлі ґрунти, тріщинуваті гірські породи типу піщаників та вапняків). Більш чітко необхідно відпрацювати питання надійності роботи машин та агрегатів, систем автоматизованого пошуку труби, що підлягає ремонту, автоматизованого позиціонування робочого обладнання відносно трубопроводу в процесі розробки ґрунтів.

З метою виявлення ступеня впливу роботи підкопувального та ґрунтоущільнювального обладнання на напружено-деформований стан трубопроводу співробітниками кафедри інженерії машин транспортного будівництва Національного транспортного університету було виконано необхідні тензометричні випробування. За даними випробувань при роботі змінного обладнання в штатних режимах його експлуатації зафіксовано зміну напруженого стану стінок трубопроводу $d=1420 \text{ мм}$ в межах $4-5,2\%$. Зміна напруженого стану стінок трубопроводу в таких межах, на наш погляд є допустимою.

Під час ремонту магістральних трубопроводів з використанням змінного обладнання земляні роботи виконуються відповідно проекту виконання робіт із дотриманням вимог нормативних документів [9, 11-13].

Обладнання пройшло державні приймальні випробування і рекомендоване рішенням приймальної комісії до серійного виробництва та для практичного використання під час виконання капітального ремонту магістральних трубопроводів та для виконання аварійно-відновлюваних робіт на трубопроводах.

Дослідно-промислову експлуатацію обладнання здійснено в ДП «Черкаситрансгаз» на магістральному газопроводі «Прогрес» d=1420 мм, ділянка газопроводу Яготин – Черкаси. За висновком фахівців-газотранспортників обладнання вкрай необхідне для виконання робіт по капітальному ремонту магістральних газопроводів, аналогів створеному обладнанню не існує. Виконувати змінним обладнанням ремонтні роботи на трубопроводах, що передбачені діючими нормативними документами, не виконуються взагалі, або виконуються вручну. Зазначимо, що не якісне виконання робіт по ущільненню ґрунту під трубопроводами веде до виникнення неконтрольованих напружень в тілі труби та до зниження надійності її подальшої експлуатації.

Висновки. Для використання комплексу створеного змінного обладнання під час виконання капітального ремонту магістральних газопроводів розроблена та затверджена ДК «Укртрансгаз» «Тимчасова технологічна інструкція виконання земляних робіт по підкопуванню та ущільненню ґрунту під трубопроводом при вибірковому капітальному ремонті діючих магістральних газопроводів діаметром від 530 до 1420 мм з застосуванням змінного навісного обладнання моделі «ОЛР» за ТУ У 29.5 – 36703323 – 001:2011».

Обладнання сертифіковане Центром сертифікації і контролю якості будівництва об'єктів нафтогазового комплексу. Технічні рішення по конструкції обладнання запатентовані в Україні.

Перелік посилань

1. Розпорядження КМ України від 15.03.2006. № 145-р. Енергетична стратегія України на період до 2030 року URL: www.zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc (дата звернення 14.04.2023).
2. Заключний документ Гаазької конференції з Європейської енергетичної хартії URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995_061. (дата звернення 14.04.2023).
3. Мусійко В. Д., Кузьмінець М. П., Баланін В. Х. Безпека і ресурсозбереження при виконанні капітального ремонту магістрального трубопровідного транспорту. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції. Харків: ХДІМІ, 2010. Т. 1. С. 175–179.
4. ВБН В.3.1-00013741-07:2007. Магістральні нафтопроводи. Методи ремонту дефектних ділянок. Київ, 2007. 114 с. (Відомчі Будівельні Норми).
5. Богатов О.І., Супонев В.М., Рагулін В.М., Ярижко О.В., Мусійко В.Д. Сучасний технічний стан магістральних трубопроводів та оцінка екологічної безпеки при транспортуванні по ним енергетичних носіїв. Вісник ХНАДУ, вип. 98. – Х.: ХНАДУ, 2022. – С. 7-15. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.7.
6. ВБН В.2.3-00013741-07:2007. Магістральні трубопроводи. Будівництво. Земляні роботи та рекультивация. Київ, 2007. 64 с. (Відомчі Будівельні Норми).
7. Патент України на винахід № 93459. Карпенко О.М., Мусійко В.Д. Підкопуюче устаткування для зрізання та евакуації ґрунту з-під трубопроводу.
8. Патент України на винахід 93802 Карпенко О.М., Мусійко В.Д. Ґрунтоущільнюючий механізм
9. ВБН В.3.1-00013741-08:2008. Магістральні газопроводи. Лінійна частина. Капітальний ремонт. Київ, 2008. 195 с. (Відомчі Будівельні Норми).
10. Патент України на винахід № 94374. Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Баланін В.Х. Технологія виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів і комплекс технологічного обладнання для її здійснення.
11. ВСН 012-88 Будівництво магістральних і промислових трубопроводів. Контроль якості і приймання робіт. Частина I. Київ, 1989. 95 с. (Відомчі Будівельні Норми).
12. НПАОП 60.3-1.01-10. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів. Київ, 2010. 63 с. (Державні Нормативні Акти з Охорони Праці).
13. СОУ 60.3-30019801-050:2008 Правила технічної експлуатації магістральних газопроводів. Київ: Укртрансгаз, 2008. 197 с. (Стандарт Організації України)

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR PERFORMING SELECTIVE CAPITAL REPAIR OF PIPELINES

Biliakovych Mykola O., Honored Worker of Public Education of Ukraine, Candidate of Technical Science, National Transport University, Professor of the Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, +380505027522, <https://orcid.org/0009-0000-2760-0127>

Varfolomeev Yurii M., National Transport University, Associate Professor Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, +380964755574, <https://orcid.org/0000-0001-5388-6624>

Vysokovych Yevhen V., Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, y.vysokovych@ntu.edu.ua, +380677537367, <https://orcid.org/0000-0002-6522-4537>

Koval Andrii B., Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: kandr@i.ua, +380500240894, <https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, SCOPUS id 57220055768

Musiiko Volodymyr D., Doctor of Technical Science, National Transport University, Head of the Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: musvd48@gmail.com, +380501040262, <https://orcid.org/0000-0001-9983-3296>, SCOPUS id 57221283646

Summary. The article provides an analysis of the technical condition of main pipelines and technologies for performing selective overhaul of their linear part. Known technological schemes for performing selective repair of pipelines do not provide for effective soil compaction after its completion due to the lack of technical means for effective and uniform soil compaction. The lack of compaction of the soil under the repaired pipeline leads to its uncontrolled subsidence relative to the line of original laying, which can cause an emergency situation. In order to ensure high-quality, fast and safe execution of the entire complex of earthworks during the selective overhaul of main pipelines with one excavator, a research and industrial universal set of interchangeable work equipment for a single-bucket crawler excavator weighing 20 tons has been designed, manufactured and tested. The set of replacement equipment consists of digging equipment, compaction equipment, a bucket for performing earthworks during the opening of the pipeline and filling the soil in the trench, a universal grip for attaching the replacement equipment to the handle of a single-bucket excavator, a system for positioning and monitoring the position of the replacement equipment relative to the pipe. Technology for implementation of earth-moving works at capital repair of linear portion of main pipelines and complex of technological equipment for its realization are patented in Ukraine. The productivity of digging equipment is 35...55 m³/h, the productivity of compacting equipment is 35...45 m/h. The use of a set of equipment allows one excavator to perform the entire complex of earthworks during the selective capital repair of main gas pipelines with a diameter of 530...1420 mm.

Keywords: main pipelines, earthworks, soil compaction, selective repair of pipelines, technological equipment, replacement equipment

References

1. Rozporiadzhennia KM Ukrainy vid 15.03.2006. № 145-r. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku URL: www.zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc. (Last accessed: 14.04.2023) [in Ukrainian].
2. Zakliuchnyi dokument Haazkoi konferentsii z Yevropeiskoi enerhetychnoi khartii URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995_061. (Last accessed: 14.04.2023) [in Ukrainian].
3. Musiiko V. D., Kuzminets M. P., Balanin V. Kh. Bezpeka i resursozberezhennia pry vykonanni kapitalnogo remontu mahistralnogo truboprovodnogo transport. Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti: materialy druhoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii. (Safety and

resource conservation during capital repair of main pipeline transport. materials of the Second International Scientific and Technical Conference). Kharkiv, 2010. T. 1. S. 175–179. [in Ukrainian].

4. VBN V.3.1-00013741-07:2007. Mahistralni naftoprovody. Metody remontu defektykh dilianok (State Building Norms (VBN V.3.1-00013741-07:2007) Main oil pipelines. Methods of repairing defective areas) Kyiv, 2007. 114 p. (Departmental Building Standards). [in Ukrainian].

5. Bokhatov O.I., Suponev V.M., Rahulin V.M., Yaryzhko O.V., Musiiko V.D. Suchasnyi tekhnichni stan mahistralnykh truboprovodiv to otsinka ekolohichnoi bezpeky pry transportuvanni po nym tntrhetychnykh nosiiv (Current technical condition of main pipelines and assessment of environmental safety during transportation of energy carriers through them). Visnyk KhNADU, Kharkiv, 2022. Vol. 98. S. 7-15. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.7. [in Ukrainian].

6. VBN V.2.3-00013741-07:2007. Mahistralni truboprovody. Budivnytstvo. Zemliani robotu ta rekultuvatsia (State Building Norms (VBN V.2.3-00013741-07:2007) Main pipelines. Construction. Earthworks and reclamation.). Kyiv, 2007. 64 p. (Departmental Building Standards). [in Ukrainian].

7. Patent Ukrainy № 93459. Karpenko O.M., Musiiko V.D. Pidkopuiuche ustatkuvannia dlia zrizzannia ta evakuatsii gruntu z-pid truboprovodu. (Patent of Ukraine № 93459 Digging equipment for soil cutting and evacuation from under pipeline). [in Ukrainian].

8. Patent Ukrainy № 93802 Karpenko O.M., Musiiko V.D. Gruntoushchylniuiuchy mekhanizm (Patent of Ukraine № 93802 Earth-compacting mechanism). [in Ukrainian].

9. VBN V.3.1-00013741-08:2007. Mahistralni naftoprovody. Liniina chastyna. Kapitalnyi remont (State Building Norms (VBN V.3.1-00013741-08:2007) Main oil pipelines. Linear part. Capital repair). Kyiv, 2007. 195 p. (Departmental Building Standards). [in Ukrainian].

10. Patent Ukrainy № 94374. Dmytrychenko M.F., Musiiko V.D., Biliakovych M.O., Kuzminets M.P., Balanin V.Kh. Tekhnolohiia vykonannia zemlianykh robit pry kapitalnomu remonti liniinoi chastyny mahistralnykh truboprovodiv i kompleks tekhnolohichnoho obladnanniz dlia ii zdiisnennia (Patent of Ukraine № 94374 Technology for implementation of earth-moving works at capital repair of linear portion of main pipelines and complex of technological equipment for its realization). [in Ukrainian].

11. VSN 012-88 Budivnytstvo mahistralnykh i promyslovykh truboprovodiv. Kontrol yakosti i pryimannia robit. Chastyna I. (State Building Norms (VSN 012-88) Construction of main and industrial pipelines. Quality control and acceptance of works. Part I) Kyiv, 1988. 95 p. (Departmental Building Standards). [in Ukrainian].

12. NPAOP 60.3-1.01-10. Pravyla bezpechnoi ekspluatatsii mahistralnykh hazoprovodiv (NPAOP 60.3-1.01-10 Rules for the safe operation of main gas pipelines). Kyiv, 2010. 63 p. (State Normative Acts on Labor Protection). [in Ukrainian].

13. SOU 60.3-30019801-050:2008 Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii mahistralnykh hazoprovodiv (SOU 60.3-30019801-050:2008 Rules for the technical operation of main gas pipelines) Kyiv, 2008. 197 p. (Standard of the Organization of Ukraine). [in Ukrainian].

УДК 629.3:016.8
UDC 629.3:016.8

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-172-181

**ВИКОРИСТАННЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЦИКЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАШИН ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА**

**USE OF TEST CYCLES FOR STUDYING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF
TRANSPORT CONSTRUCTION MACHINERY**



Ковбасенко Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: s-kov@ukr.net, тел.: +380442809773,

<https://orcid.org/0000-0002-7309-8200>, [SCOPUS id 58028024300](https://scopus.org/58028024300)



Гонтар Юрій Валерійович, аспірант Національного транспортного університету, провідний інженер ДП «ДержавотрансНДІпроект», Київ, Україна, e-mail: yuragontar0511@gmail.com, тел.: +380978703884,

<https://orcid.org/0009-0005-6261-5216>



Білякович Микола Олексійович, Заслужений працівник народної освіти України, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, тел.: +380505027522,

<https://orcid.org/0009-0000-2760-0127>



Сімоненко Віталій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, тел.: +380442809773,

<https://orcid.org/0000-0002-7556-069X>, [SCOPUS id 57224363138](https://scopus.org/57224363138)

Анотація. У статті розглянуті основні випробувальні цикли, які можуть використовуватись для оцінки експлуатаційних властивостей машин транспортного будівництва. Зокрема, з їх допомогою можна досліджувати екологічну безпеку та паливну економічність машин різноманітного призначення, які використовуються у транспортному будівництві. В роботі наведені методи та процедури, за якими досліджуються експлуатаційні властивості таких машин. Розглянуті випробувальні цикли двигунів сільськогосподарської техніки, дорожньо-будівельних машин, екскаваторів, судових, промислових та тепловозних двигунів, передбачені міжнародним стандартом ISO 8178. Даний стандарт складається з 11 розділів, в яких детально описується процедура випробувань та способи вимірювання вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах різнотипних двигунів, вимоги до типу палива та аналіз отриманих результатів. ISO 8178 містить ряд

випробувальних циклів двигуна на моторному стенді, розроблених для різних класів двигунів та обладнання, кожен з яких являє собою послідовність усталених або перехідних режимів із різними коефіцієнтами навантаження. У випадку, коли проведення випробувань на моторному стенді ускладнено, даний стандарт передбачає проведення вимірювання в умовах експлуатації. В такому випадку стандартні випробувальні цикли не застосовуються, а випробування проводяться, коли транспортний засіб працює в своєму звичайному експлуатаційному режимі. Викиди вимірюються за допомогою портативної системи вимірювання шкідливих викидів Portable emissions measurement system (PEMS). Випробувальні цикли є одним з ефективних інструментів для оцінки паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва. Вони дозволяють отримати багато корисної інформації про різні аспекти роботи машин, такі як витрата палива, викиди шкідливих речовин, рівень шуму, ефективність роботи двигуна тощо. Одним із недоліків використання випробувальних циклів є їх обмежена універсальність. Різні типи машин мають свої унікальні особливості, тому для досягнення максимальної ефективності досліджень, необхідно розробляти випробувальні цикли, які відповідають специфіці різних типів машин.

Ключові слова: Випробувальний цикл, експлуатаційні властивості, витрата палива, екологічна безпека, машини транспортного будівництва.

Вступ. Одними з ключових експлуатаційних властивостей машин транспортного будівництва є їх паливна економічність та екологічна безпека. Відпрацьовані гази, що виділяються внаслідок спалювання палива у двигунах внутрішнього згорання, містять понад 200 відомих найменувань шкідливих речовин, у тому числі канцерогени [1]. Період їх природної нейтралізації в навколишньому середовищі становить від декількох хвилин до 5 років. Найпоширенішими є оксиди вуглецю (CO), оксиди азоту (NOx), сірковуглецеві сполуки (SOx), тверді частки та інші шкідливі речовини. Вони згубно впливають на здоров'я людей та навколишнє середовище. Якщо автомобільні транспортні засоби поступово переходять на альтернативні джерела енергії, як правило, відновлювальні, то тепловози, судна, машини транспортного будівництва та спеціальна стаціонарна техніка ще дуже залежить від палив викопного походження, світові запаси яких постійно скорочуються. Тому для виробників спеціальної техніки, технологічних машин, машин транспортного будівництва вкрай важливо знизити показник витрати палива, витраченого на одиницю роботи такої техніки.

Одним зі способів визначення експлуатаційних властивостей машин транспортного будівництва є аналіз типових навантажувальних діаграм двигунів, які відображають залежність зміни моменту опору від часу протікання робочого циклу. Більш сучасними методами визначення експлуатаційних показників машин транспортного будівництва є дослідження цих показників за допомогою випробувальних циклів.

Аналіз результатів досліджень і публікацій.

Для оцінки режимів роботи двигуна і паливної економічності спеціальної техніки користуються навантажувальними діаграмами [2]. Їх будують на основі статистичних даних, отриманих експериментальним або розрахунковим шляхом. Передбачається, що ці діаграми відтворюють реальні умови експлуатації такої техніки. Приклад навантажувальної діаграми двигуна екскаватора наведено на рисунку 1.

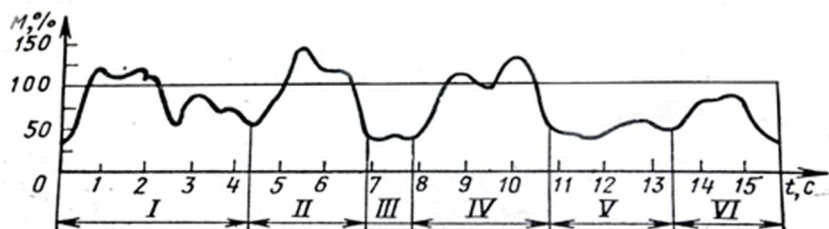


Рисунок 1 – Навантажувальна діаграма двигуна екскаватора [2]

Figure 1 – Excavator engine loading diagram [2]

Як видно з навантажувальної діаграми робочий цикл екскаватора складається з окремих операцій. При копанні ґрунту екскаватором із прямою лопатою можна виділити шість таких режимів:

- I- копання;
- II- розгін платформи із навантаженим ківшом;
- III- рівномірне обертання платформи;
- IV- гальмування платформи із завантаженим ківшом і розгін із порожнім;
- V- рівномірне обертання платформи із порожнім ківшом;
- VI - гальмування платформи із порожнім ківшом.

Для кожної операції циклу визначають наступні параметри:

- максимальний момент опору;
- час операції;
- середній момент;
- кут обертання колінчастого валу двигуна за час виконання операції;
- роботу, виконану двигуном.

Подібні навантажувальні характеристики можна навести і для інших машин транспортного будівництва. Навантажувальна діаграма бульдозера наведена на рисунку 2.

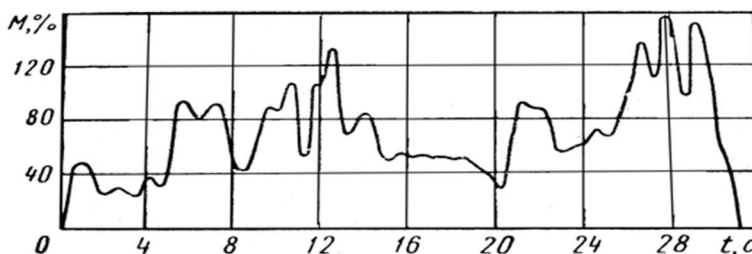


Рисунок 2 – Навантажувальна діаграма двигуна бульдозера [2]

Figure 2 – Loading diagram of the bulldozer engine [2]

Недоліками використання навантажувальних діаграм для оцінки режимів роботи двигуна і паливної економічності спеціальної техніки є те, що ці діаграми можуть бути застарілими та не враховують реальні умови роботи машин на дорогах та будівельних майданчиках, а також враховувати особливостей конкретної моделі машини.

Також для визначення витрати палива можна використовувати розроблені в Україні норми витрати палива машинами транспортного будівництва, які дозволяють розрахувати споживання палива машинами в умовах експлуатації. Ці норми включають додатки з визначеними нормами витрат палива по конкретних марках і типах спеціальної техніки та методичні вказівки з визначення індивідуальних норм витрат бензину та дизельного палива на роботу дорожніх і спеціальних машин [3].

Індивідуальна норма (H_i) витрати палива визначається за формулою:

$$H_i = Q_e \cdot N_e \cdot C \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де H_i – індивідуальна норма витрати палива дорожньої машини, кг/маш·год (враховує середні умови експлуатації дорожніх машин впродовж робочої зміни);

Q_e – питома витрата палива при нормальній потужності двигуна, г/кВт·год. (приймається по даним інструкції з експлуатації заводу-виготовлювача дорожньої машини);

N_e – номінальна потужність двигуна дорожньої машини, кВт, приймається по даним інструкції з експлуатації машини впродовж робочої зміни та визначається по формулі, наведеній нижче.

Визначення інтегрального нормативного коефіцієнта C :

$$C = K_{дв} \cdot K_{дп} \cdot K_{тп} \cdot K_{тз} , \quad (2)$$

де $K_{дв}$ – коефіцієнт використання двигуна в часі;

$K_{дп}$ – коефіцієнт використання двигуна по потужності;

$K_{тп}$ – коефіцієнт, що враховує зміни питомої витрати палива в залежності від ступеня використання двигуна по потужності;

$K_{тз}$ – коефіцієнт, який враховує витрату палива на запуск і регулювання роботи двигуна, а також щомісячне технічне обслуговування машин на початку зміни, дорівнює 1,03.

Дані норми передбачають застосування корегувальних коефіцієнтів для більш точного визначення витрати палива за певних умов, наприклад, при роботі двигуна за низьких температур навколишнього середовища або використання техніки після капітального ремонту двигуна. Недоліками використання норм витрат палива для оцінки паливної економічності спеціальних машин транспортного будівництва є те, що ці норми не враховують реальних умов експлуатації, таких як стан доріг, рельєф місцевості, навантаження на машину, швидкість руху та інші фактори. Тому використання цих норм не дозволяє врахувати особливості роботи таких машин і такі розрахунки можуть бути доволі наближеними.

Мета дослідження – аналіз існуючих випробувальних циклів для оцінки експлуатаційних характеристик, паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва, а також встановлення можливості розробки нових випробувальних циклів, які б відповідали особливостям роботи різних типів машин транспортного будівництва і умовам їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження екологічних показників двигунів внутрішнього згоряння, які не застосовуються в автомобільному транспорті передбачена процедура випробувань, яка описана в міжнародному стандарті **ISO 8178**.

ISO 8178 – це серія стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), розроблена для вимірювання шкідливих викидів та твердих частинок у відпрацьованих газах поршневих двигунів внутрішнього згоряння, призначених для встановлення на суднах, тепловозах, генераторах, машинах транспортного будівництва та іншій транспортній рухомій та пересувній техніці [4]. Перший стандарт ISO 8178 був прийнятий у 1986 році; з того часу серія періодично оновлювалась та розширювалась. Він використовується для сертифікації викидів та/або тестування на схвалення типу в багатьох країнах, включаючи Сполучені Штати, Європейський Союз і Японію. Даний стандарт складається з 11 розділів, в яких описується детальна процедура випробувань та способи вимірювання вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах різнотипних двигунів, вимоги до типу палива та аналіз отриманих результатів.

ISO 8178 містить ряд випробувальних циклів двигуна на моторному стенді, розроблених для різних класів двигунів та обладнання. Кожен із цих циклів являє собою послідовність усталених або перехідних режимів із різними коефіцієнтами навантаження [5].

При неможливості проведення випробувань на моторному стенді даний стандарт передбачає проведення вимірювання в умовах експлуатації (ISO 8178-2). В такому випадку стандартні випробувальні цикли не застосовуються. Такі випробування проводяться, коли транспортний засіб працює в своєму звичайному експлуатаційному режимі. Викиди вимірюються за допомогою портативної системи вимірювання шкідливих викидів PEMS (Portable emissions measurement system) [6]. PEMS обладнана газоаналізаторами, масовими витратомірами вихлопних газів, системою глобального позиціонування (GPS), метеостанцією [7]. Приклад застосування PEMS під час проведення випробування показано на рис. 3 [8]. У переважній більшості робота таких типів двигунів

складається з перехідних режимів, тому розрахунок проводять відповідно до процедури, описаної в ISO 8178-11.



Рисунок 3 – Застосування PEMS під час проведення випробування [8]

Figure 3 – Application of PEMS during testing [8]

Визначення димності відпрацьованих газів двигунів сільськогосподарської техніки, дорожньо-будівельних машин, екскаваторів, судових, промислових та тепловозних двигунів на ustalених режимах описано в ISO 8178-3. Дане дослідження проводять за двома методами: оптичним та фільтраційним.

Вимірювання непрозорості стовпа відпрацьованих газів визначеної довжини, а саме 0,43 м, (тобто величини інтенсивності поглинання пучка світла, що проходить через стовп відпрацьованих газів), є основою оптичного методу. Його основним недоліком є реакція фотоеlementу приладу не лише на сажу, що міститься у відпрацьованих газах, але й на пари води та інші складові відпрацьованих газів, через вміст яких створюється непрозорість. Фільтраційний метод базується на вимірюванні ступеня забруднення фільтра, через який пропускають певний об'єм відпрацьованих газів. Димність відпрацьованих газів оцінюється за величиною інтенсивності відбитого пучка світла, направлено на поверхню фільтра [9].

Випробувальні цикли на ustalених режимах описуються в ISO 8178-4. У даному розділі цикли розділені на шість груп:

С – двигуни для машин транспортного будівництва, позашляхового транспорту та промислового обладнання;

D – двигуни, які працюють при постійній частоті обертання;

E – суднові двигуни;

F – тепловозні двигуни;

G – двигуни для газонакосарок та інші, потужністю переважно меншою 20 кВт;

H – снігоходи.

Вимоги до еталонного палива, яке застосовується у стендових випробуваннях, регламентуються в ISO 8178-5. Вимоги даного стандарту не поширюються на автомобільні, тракторні та авіаційні двигуни. Цей документ стосується двигунів, які використовуються в землерийних машинах, генераторних установках тощо.

ISO 8178-9 встановлює методи вимірювання та випробувальні цикли, які застосовуються для оцінки димності відпрацьованих газів двигунів у стендових умовах на перехідних режимах та поширюється на поршневі двигуни внутрішнього згорання із запалюванням від стиснення. Для дослідження димності відпрацьованих газів на перехідних режимах в режимі експлуатації використовують ISO 8178-10.

Вимірювання на перехідних режимах проводиться за допомогою оптичних димомірів – пристроїв, в основі роботи яких лежить оцінка ступеню ослаблення світлового потоку.

Розглянемо деякі основні випробувальні цикли описані в ISO 8178.

Для випробування дизельного двигуна позашляхового транспорту та промислового обладнання на усталених режимах використовують 8-ми режимний цикл (C1), [10]. Його часто називають NRSC (Non-Road Steady-State Cycle), (рис. 4). Найчастіше користуються саме цим випробувальним циклом.

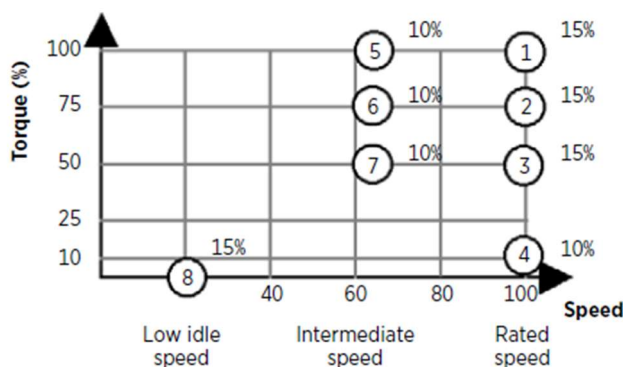


Рисунок 4 – 8-ми режимний цикл C1 (NRSC) [10]

Figure 4 – 8th mode cycle C1 (NRSC) [10]

Двигуни з іскровим запалюванням, потужністю більше 20 кВт, на усталених режимах випробовуються за 7-ми режимним циклом (C2), (рис. 5).

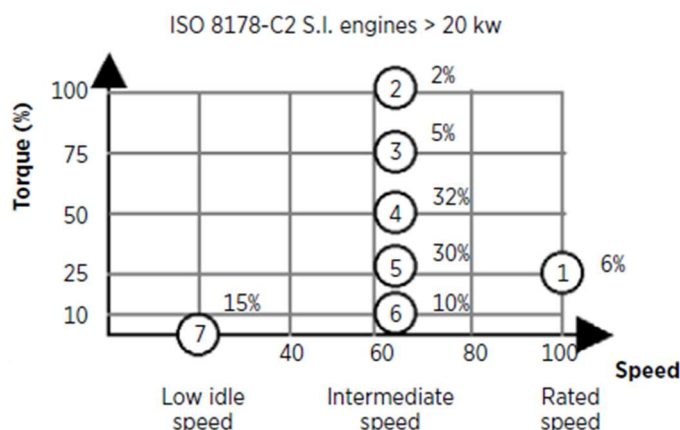


Рисунок 5 – 7-ми режимний цикл C2 [10]

Figure 5 – the 7th regime cycle C2 [10]

Мінімальний час проведення випробування всіх груп (окрім групи G), описаних в ISO 8178-4, складає 10 хвилин. Вимірювання газоподібних речовин та їх фіксація вимірювання складає 3 хвилини, однак для розрахунку викидів використовують дані, отримані впродовж останніх 60 секунд із зазначеного 3-хвилинного періоду. Для групи G (при вимірюванні тільки газоподібних викидів) тривалість кожного випробування складає 3 хвилини, але фіксація результатів здійснюється, починаючи з другої хвилини. У випадках, коли потрібно стабілізувати параметри двигуна або зібрати більшу кількість матеріалу для проби, допускається збільшення часу випробування.

Для випробувань двигунів на перехідних режимах використовують цикл NRTC (Non-Road Transient Cycle). Тривалість випробування - 1238 секунд. Частота обертання двигуна та крутний момент під час випробування NRTC показані на наступному рисунку (рис. 6). NRTC запускається двічі, з холодним і гарячим стартом, з 20-хвилинним періодом витримки між тестами. Середня потужність становить близько 37% від максимальної потужності двигуна [11].

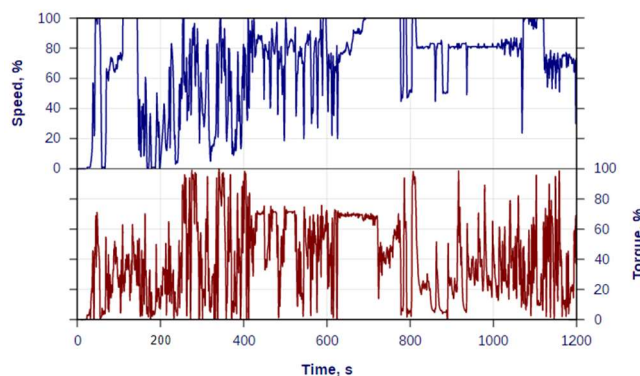


Рисунок 6 – Нормована швидкість і крутний момент за циклом NRTC [10]

Figure 6 – Normalized speed and torque for the NRTC cycle [10]

Отже, випробувальні цикли доцільно використовувати для оцінки паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва в умовах, близьких до реальних умов експлуатації машин. Випробувальні цикли двигунів машин транспортного будівництва переважно враховують усталені режими роботи, в результаті чого може виникати розбіжність отриманих результатів із показниками роботи машин транспортного будівництва в умовах експлуатації. Тому проведення досліджень експлуатаційних показників важливо здійснювати не тільки за допомогою

випробувальних циклів, але і в реальних умовах експлуатації машин. Оскільки спектр машин транспортного будівництва досить широкий, а різні типи машин мають свої особливості та режими роботи, щоб забезпечити максимальну ефективність досліджень, необхідно розробляти випробувальні цикли, які відповідають специфіці різних типів машин.

Висновки. Випробувальні цикли є одним з ефективних інструментів для оцінки паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва. Вони дозволяють отримати багато корисної інформації про різні аспекти роботи машин, такі як витрата палива, викиди шкідливих речовин, рівень шуму, ефективність роботи двигуна тощо. В той же час вони не дають змоги точно врахувати усі режими роботи спеціальної техніки транспортного будівництва циклічної дії, таких як екскаватори, грейдери, землерийні машини тощо. Одним із недоліків використання випробувальних циклів є їх обмежена універсальність. Різні типи машин мають свої унікальні особливості, тому для досягнення максимальної ефективності досліджень, необхідно розробляти випробувальні цикли, які відповідають специфіці різних типів машин. Крім того, важливо враховувати, що результати випробувальних циклів мають певні обмеження, оскільки вони проводяться в умовах, які можуть відрізнятися від реальних умов експлуатації машин. У зв'язку з цим, важливо проводити дослідження не тільки за допомогою випробувальних циклів, але і в реальних умовах експлуатації машин. Це дозволить отримати більш точні результати та забезпечити максимальну ефективність експлуатації машин.

Дослідження паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва за допомогою випробувальних циклів досить трудомісткий процес, тому створення випробувальних циклів для спрощення певних етапів дорожніх випробувань та розробка програмних засобів, універсальних комп'ютерних моделей дозволить суттєво полегшити процедуру випробування машин транспортного будівництва і забезпечити точність отриманих результатів. Розробка і використання випробувальних циклів для дослідження паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва є важливим фактором для дослідження та поліпшення експлуатаційних властивостей машин, підвищення їх екологічної безпеки та зниження їх впливу на довкілля.

Перелік посилань

1. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. Київ, 2017.
2. Ковбасенко С., Марченко І. Особливості режимів роботи двигунів внутрішнього згорання будівельних і дорожніх машин. Transport'2012. – Rzeszów: zakład pojazdów samochodowych i silników spalinowych, 2012. – с.149 – 152.
3. Норми витрат паливно-мастильних матеріалів на роботу дорожньо-будівельних машин. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0435466-02#Text>.
4. Emission Test Cycles. Режим доступу: <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>.
5. ISO 8178 Поршневі двигуни внутрішнього згорання — стандарт вимірювання відпрацьованих газів.
6. European Commission. Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). Режим доступу: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-tools-and-databases/portable-emissions-measurement-systems-pems_en.
7. Portable Emissions Measurement System. Режим доступу: https://www.aip-automotive.de/portals/0/PDF/Handout_PEMS_A5_EN_v6.pdf.
8. Real Emissions of a Plant Oil Compatible Tractor. Measured by PEMS and on the Tractor Test Stand. Режим доступу: https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/en/dateien/rde_w_tfz_bayern_pems.pdf.
9. Козаченко О.В. Практикум з технічної діагностики: навч. посібник / О.В. Козаченко, С.П. Сорокін, О.М. Шкрегаль та ін.; За ред. проф. О.В. Козаченка. – Х.: Факт, 2013. 456 с.

10. Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Режим доступу: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/on-and-off-highway-commercial-vehicles-emissions-standards.pdf?sfvrsn=30265b3d_8.

11. Nonroad Transient Cycle (NRTC). Режим доступу: <https://dieselnet.com/standards/cycles/nrtc.php>.

References

1. Transport ecology: a study guide / O. I. Zaporozhets, S. V. Boychenko, O. L. Matveeva, S. Y. Shamanskyi, T. I. Dmytrokha, S. M. Madzhd; in general edited by S. V. Boychenko. Kyiv, 2017.

2. Kovbasenko S., Marchenko I. Peculiarities of operating modes of internal combustion engines of construction and road vehicles. Transport'2012. - Rzeszów: Car Vehicles and Internal Combustion Engines Department, 2012. – с.149 – 152.

3. Norms of consumption of fuel and lubricants for the operation of road construction machines. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0435466-02#Text>.

4. Emission Test Cycles. Access mode: <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>.

5. ISO 8178 Internal combustion piston engines — exhaust gas measurement standard.

6. European Commission. Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). Access mode: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-tools-and-databases/portable-emissions-measurement-systems-pems_en.

7. Portable Emissions Measurement System. Режим доступу: https://www.aip-automotive.de/portals/0/PDF/Handout_PEMS_A5_EN_v6.pdf.

8. Real Emissions of a Plant Oil Compatible Tractor. Measured by PEMS and on the Tractor Test Stand. Режим доступу: https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/en/dateien/rde_w_tfz_bayern_pems.pdf.

9. Kozachenko O.V. Workshop on technical diagnostics: teacher. manual / O.V. Kozachenko, S.P. Sorokin, O.M. Shkrehal and others; Under the editorship Prof. O.V. Kozachenko. - Kh.: Fakt, 2013. 456 p.

10. Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Access mode: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/on-and-off-highway-commercial-vehicles-emissions-standards.pdf?sfvrsn=30265b3d_8.

11. Nonroad Transient Cycle (NRTC). Access mode: <https://dieselnet.com/standards/cycles/nrtc.php>.

USE OF TEST CYCLES FOR STUDYING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF TRANSPORT CONSTRUCTION MACHINERY

Kovbasenko Serhii Volodymyrovych, Ph.D., professor of the department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, s-kov@ukr.net, phone: +380442809773 orcid.org/0000-0002-7309-8200, SCOPUS id 58028024300.

Gontar Yurii Valeriyovych, postgraduate of National Transport University, senior engineer in "DerzhavtotransNDIproekt", Kyiv, Ukraine, yuragontar0511@gmail.com, phone: +380978703884 orcid.org/0009-0005-6261-5216.

Biliakovych Mykola Oleksiyovych, Honored Worker of Public Education of Ukraine, candidate of technical sciences, professor, National Transport University, professor of the department of engineering of transport construction machines, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, phone: +380505027522, orcid.org/0009-0000-2760-0127.

Simonenko Vitaly Vasyliovych, candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of engineering of transport construction machines, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, phone: +380442809773, orcid.org/0000-0002-7556-069X, SCOPUS id 57224363138.

Abstract. The article discusses the main test cycles that can be used to evaluate the operational properties of transport construction machines. In particular, with their help, it is possible to study the environmental safety and fuel efficiency of machines of various purposes, which are used in transport construction. The work presents the methods and procedures by which the operational properties of such machines are investigated. The considered test cycles of engines of agricultural machinery, road construction machines, excavators, ship, industrial and locomotive engines, provided by the international standard ISO 8178. This standard consists of 11 chapters, which describe in detail the test procedure and methods of measuring the content of harmful substances in exhaust gases of various types engines, fuel type requirements and analysis of the obtained results. ISO 8178 contains a series of engine bench test cycles designed for different classes of engines and equipment, each of which is a sequence of steady-state or transient modes with different load factors. In the event that conducting tests on a motor stand is difficult, this standard provides for measurement under operating conditions. In this case, the standard test cycles do not apply and the tests are carried out while the vehicle is operating in its normal operating mode. Emissions are measured using the Portable emissions measurement system (PEMS). Test cycles are one of the effective tools for evaluating the fuel economy and environmental performance of transport construction machines. They allow you to get a lot of useful information about various aspects of the machines, such as fuel consumption, emissions of harmful substances, noise level, engine efficiency, etc. One of the disadvantages of using test cycles is their limited versatility. Different types of machines have their own unique features, so in order to achieve the maximum efficiency of research, it is necessary to develop test cycles that correspond to the specifics of different types of machines.

Keywords: Test cycle, operational properties, fuel consumption, environmental safety, transport construction machines.

ДО ПИТАННЯ ЩОДО СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ-ЦИСТЕРНИ
TO THE QUESTION REGARDING THE STABILITY OF THE TANK CAR

Сагно Володимир Прохорович, Заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів. e-mail: syp_40@ukr.net, тел. +38 0676655344,

<https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>



Попелиш Денис Михайлович, магістр, Національний транспортний університет, аспірант кафедри автомобілів. e-mail: popelish@ukr.net, тел. +380677921408

<https://orcid.org/0000-0001-9506-6421>

Анотація. Вільне перетікання рідини в частково заповненій рухомій автоцистерні діє значними величинами сил і моментів на оболонку ємності, що, в свою чергу, негативно впливає на стабільність руху транспортного засобу. Більшість існуючих теорій руху рідини засновані на припущеннях щодо нев'язкої та нестисливої рідини, яка має потенціал швидкісного поля, коливається в межах малих амплітуд, сумірних з розмірами резервуару та глибиною потоку. Динамічний аналіз транспортних засобів з частково заповненими цистернами розглядався у відносно небагатьох дослідженнях через складності, що пов'язані з моделюванням динамічної поведінки рідини всередині резервуарів, що рухаються, та взаємодій з транспортними засобами. Спрощені підходи для оцінки значень порогу перекидання частково заповнених автотransпортних засобів також досліджувалися за допомогою рівноваги моментів у поперечній площині. Ці дослідження показали, що геометрія резервуарів є важливим фактором, що впливає на поперечне переміщення вантажу, а отже, і на керованість і стійкість частково заповнених цистерн. У роботі запропоновано підхід для визначення стійкості руху частково заповнених цистерн, що базується на використанні зміщення центру мас рідкого вантажу як основного збурюючого фактору. При цьому показано, що застосування переднього і заднього колісного керуючого модуля призводить до поліпшення показників маневреності і стійкості руху автомобіля-цистерни, а ефективність такого застосування у значній мірі залежить від закону управління колесами заднього керуючого модуля, для якого визначений закон управління. Встановлено, що при зміні кута повороту переднього і заднього керуючого колісного модуля за визначеним законом управління за швидкості, що перевищує 15,2 м/с, приріст радіусу повороту лежить в межах 20...30%, що призводить до збільшення критичної швидкості руху і стійкості руху автомобіля-цистерни. При цьому найбільш небезпечним за критичною швидкістю руху є заповнення цистерни на 50%, що необхідно враховувати при експлуатації автомобілів-цистерн.

Ключові слова: автомобіль-цистерна, заповнення, рідкий вантаж, керуючий колісний модуль, ексцентриситет, швидкість, стійкість.

Вступ. Для перевезення наливних вантажів автомобільним транспортом здебільшого застосовуються автопоїзди і автомобілі з цистернами. При транспортуванні частково заповненої

цистерни через порівнянності маси порожньої цистерни з масою рідини, що перевозиться, змінюються динамічні якості колісних транспортних засобів (КТЗ) так, що вони суттєво відрізняються від динамічних характеристик інших КТЗ. Внаслідок великих переміщень центру мас вантажу в резервуарі з'являються додаткові навантаження, що діють на конструкцію цистерни, а також істотно знижують стійкість і керованість КТЗ.

Вільне перетікання рідини в частково заповненій рухомій автоцистерні діє значними величинами сил і моментів на оболонку ємності, що, в свою чергу, негативно впливає на стабільність руху транспортного засобу. Сумарні величини гідродинамічних сил і моментів разом з істотними динамічними навантаженнями автоцистерни під час гальмування, прискорення та зміни напрямку руху призводять до зниження гальмівних властивостей та погіршенню стійкості автомобіля. Причини часткового наповнення автоцистерн загального призначення часто пов'язані з тим, що їх використовують для перевезення вантажів з різною щільністю, а обмеження повної маси та навантажень на осі транспортного засобу можуть не дозволяти використовувати весь об'єм резервуара. Таким чином аналіз динамічного впливу рідкого вантажу на рух транспортного засобу залишається нагальною потребою, в тому числі задля розробки спеціальних алгоритмів для систем стабілізації автоцистерн.

Динамічний аналіз транспортних засобів з частково заповненими цистернами розглядався у відносно небагатьох дослідженнях через складності, що пов'язані з моделюванням динамічної поведінки рідини всередині резервуарів, що рухаються, та взаємодій з транспортними засобами [1-6].

Спрощені підходи для оцінки значень порогу перекидання частково заповнених автотранспортних засобів також досліджувалися за допомогою рівноваги моментів у поперечній площині [7-8]. Ці дослідження показали, що геометрія резервуарів є важливим фактором, що впливає на поперечне переміщення вантажу, а отже, і на керованість і стійкість частково заповнених цистерн. Дослідження, однак, проводилися тільки для традиційних форм цистерн, які мають певні обмеження, пов'язані з їх геометрією з точки зору стійкості транспортного засобу. Крім того, в цих дослідженнях розглядалося переміщення навантаження, що було спричинене перетіканням рідини лише в поперечній площині, а рух транспортного засобу обмежувався маневрами з постійною швидкістю керування.

У роботі [9] було зроблено висновок, що не зважаючи на ряд досліджень з питань, пов'язаних із стійкістю до перекидання важких транспортних засобів, поки що не існує моделі, яка б могла прогнозувати перекидання частково заповненої автоцистерни в зв'язку з її конфігурацією (наприклад, кількість складових, форма резервуара і т. інше). Більше того, стійкість автоцистерни із зміною напрямку руху потребує подальшого дослідження, оскільки єдина модель [5] вирішення такого роду задачі не виявила послідовності експериментальних і аналітичних результатів, особливо для резервуарів еліптичного перерізу.

Огляд літератури проведених робіт показує, що досліді стосовно динамічного впливу перетікання рідини на рухомі резервуари, зокрема автоцистерни, проведені у великій кількості і мають широке розмаїття щодо напрямлень, складності розрахунків, а також використання методів і теорій. При цьому можна зробити висновок, що поки не існує моделі, за допомогою якої можна прогнозувати стійкість автомобіля-цистерни у різних режимах руху.

Мета публікації полягає у визначенні показників стійкості автомобіля з частково заповненою цистерною у прямолінійному русі.

Об'єктом дослідження є показники стійкості частково заповненої цистерни у різних режимах руху. В роботі використано наступні **методи**: аналізу та узагальнення літературних джерел, математичне моделювання режимів руху частково заповненої цистерни, порівняльний аналіз показників стійкості автомобілів з жорстким та рідким вантажем.

Результати і пояснення. У процесі експлуатації автомобілів-цистерн за рахунок руху рідкого вантажу в цистерні досить важко забезпечити симетричність навантажень для правого й лівого бортів, що приводить до зміни положення центру мас (ексцентриситету центру мас) й істотній зміні параметрів його руху. Історично склалося так, що питання стійкості, як правило, вивчалися стосовно

автомобілів, що рухаються криволінійними траєкторіями. До розробки теорії повороту автомобіля з урахуванням відведення його коліс практично використовувалися лише оціночні параметри стійкості автомобіля при його круговому русі (критичні швидкості перекидання і занесення при круговому русі) і русі на дорогах з поперечним ухилом (критичні кути по перекиданню і бічному ковзанню на косогорі). Ці параметри оцінки застосовуються і зараз. І значно меншою мірою досліджено питання стійкості та керованості прямолінійного руху автомобіля. Вивчати власний рух найбільш зручно, коли основний рух у поперечному напрямку відсутній (тобто при прямолінійному русі), оскільки він визначається внутрішніми властивостями системи, а не видом траєкторії, близької до прямолінійної, причому швидкості руху за цих умов найбільші. Таким чином, найбільш важливим і одночасно більш доступним для дослідження є рух автомобіля на прямолінійних ділянках шляху. При прямолінійному або близькому до нього криволінійному русі поліпшення стійкості можна досягти шляхом повороту не тільки передніх, але і задніх коліс, які повертаються у ту ж сторону, що і передні керовані колеса. При цьому зменшується кривизна траєкторії автомобіля і відповідно зменшуються бічні сили, що діють на колеса усіх осей автомобіля.

Для математичного опису плоскопаралельного руху автомобіля-цистерни введемо наступні спрощення та припущення [10]:

- гіроскопічні моменти та неурівноважені моменти частин, які обертаються, не враховуються;
- в шарнірах рульового приводу відсутні люфти;

- автомобіль рухається по рівній горизонтальній поверхні;

- розглядається плоска «велосипедна» схема автомобіля;

- кути повороту зовнішнього і внутрішнього коліс рівні між собою, тобто

$$\theta_3 = \theta_B = \theta \quad \text{і} \quad \varphi_3 = \varphi_2 = \varphi;$$

- основною траєкторією є траєкторія центра мас;

- взаємодія коліс з опорною поверхнею в бічному напрямку описується через реакцію полотна дороги як функція кута відведення нелінійною гіпотезою [10]:

$$Y = k_1 \delta^1 - k_2 \delta^3 + k_3 \delta^5 - \dots ;$$

- стабілізуючі моменти шин також описуються як нелінійна залежність від кута відведення

$$M_{ct} = \sigma_1 \delta^1 - \sigma_2 \delta^3 + \sigma_3 \delta^5 - \dots ,$$

де $k_1, k_2, k_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – приведені характеристики шин коліс осі ККМ;

- моменти в'язкого тертя в рульовому керуванні пропорційні кутам повороту приведених коліс [6]:

$$M_1 = h_1 \times \dot{\theta}, \quad M_2 = h_2 \times \dot{\theta}$$

де h_1 і h_2 - коефіцієнти в'язкого тертя в деталях рульового керування;

- моменти пружності в рульовому керуванні передньої і задньої осі пропорційні кутам повороту приведених коліс:

$$M_{p1} = \chi_1 \times \dot{\theta}, \quad M_{p2} = \chi_2 \times \dot{\theta},$$

де χ_1 і χ_2 – коефіцієнти жорсткості рульового приводу.

З урахуванням вищенаведених припущень автомобіль-цистерну можна представити у вигляді, умовно розділеному на три модулі (ланки):

- передній керуючий колісний модуль (ККМ);
- остов автомобіля-цистерни з ведучою віссю;
- задній керуючий колісний модуль (ККМ).

Обидва ККМ мають по одному ступеню волі відносно остова автомобіля – поворот навколо приведених нахилених шворнів. Кути повороту обмежені відносно остова автомобіля зв'язками, що накладені рульовим керуванням, зокрема моментами пружності M_{p1} і M_{p2} та моментами в'язкого тертя M_{h1} і M_{h2} .

З метою спрощення наступних висновків не будемо враховувати масові і інерційні параметри переднього і заднього керованого модуля.

Для знаходження проєкцій швидкостей центрів мас переднього та заднього ККМ – V_0, U_0, V_1, U_1 , абсолютних кутових швидкостей ω_1, ω_2 , а також кутів бокового відведення приведених коліс δ_1 і δ_2 скористаємося схемами, приведеними на рис. 2.

$$\begin{aligned}
 & (m_1 + m + m_2)\dot{V} + (m_1 c \sin \theta - m_2 d \sin \varphi)\dot{\omega} + m_1 c \sin \theta \cdot \ddot{\theta} + m_2 d \sin \varphi \ddot{\varphi} - \omega u(m_1 + m + m_2) + \\
 & + m_1 c(\omega + \dot{\omega})^2 \cos \theta + m_2(\omega - \dot{\varphi})^2 d \cos \varphi + \omega^2(m_2 d - m_1 a) = \\
 & = X_1 \cos \theta - Y_1 \sin \theta + X_2 + X_3 \cos \varphi + Y_3 \sin \varphi; \\
 & (m_1 + m + m_2)\dot{u} + [m_1(a - c \cos \theta) - m_2(b + d \cos \varphi)]\dot{\omega} - m_1 c \cos \theta \ddot{\theta} + m_2 d \cos \varphi \ddot{\varphi} + \omega V(m_1 + m + m_2) + \\
 & + m_1 c(\omega + \dot{\omega})^2 \sin \theta - m_2(\omega - \dot{\varphi})^2 d \sin \varphi = X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta + Y_2 + X_3 \sin \varphi + Y_3 \cos \varphi; \\
 & [I + m_1 a(a - c \cos \theta) + m_2 b(b + d \cos \varphi)]\dot{\omega} - m_1 a c \cos \theta \ddot{\theta} + (m_1 a - m_2 b)\dot{u} - m_2 c d \cos \varphi \ddot{\varphi} + (m_1 a - m_2 b)\omega V + \\
 & + m_1 a c(\omega + \dot{\omega})^2 \sin \theta + m_2 d(\omega - \dot{\varphi})^2 c \sin \varphi = a(X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta) + b Y_2 + M_{p1} + M_{p2} + M_{h1} + M_{h2}; \\
 & (I_1 + m_1 c^2)\ddot{\theta} - [I_1 + m_1 c(c - a \cos \theta)]\dot{\omega} + m_1 c \sin \theta \dot{V} - m_1 c \cos \theta \cdot \dot{u} - m_1 c \omega(u + \omega a) \sin \theta - m_1 c \omega V \cos \theta = \\
 & = -c Y_1 - M_{cT1} - M_{p1} - M_{h1}; \\
 & [I_2 + m_2 d^2]\ddot{\varphi} - [I_2 + m_2 d(d + b \cos \varphi)]\dot{\omega} + m_2 d \dot{V} \sin \varphi + m_2 d \dot{u} \cos \varphi + m_2 d \omega V \cos \varphi - \\
 & - m_2 d(u - \omega b) \omega \sin \varphi = L_1 Y_3 - M_{cT2} - M_{p2} - M_{h2}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

У системі рівнянь (1) прийняті такі позначення:

m, m_1, m_2 ; I, I_1, I_2 – маса і момент інерції автомобіля-цистерни, переднього і заднього керованого колісного модуля;

a, b – відстань від центру мас автомобіля до передньої і задньої осі;

c, d – винос переднього і заднього керованих коліс;

l – відстань від ведучої до задньої осі автомобіля;

L_1 – відстань від центру мас до задньої осі автомобіля;

v, u, ω – поздовжня, поперечна і кутова швидкості автомобіля;

θ і φ – кути повороту переднього і заднього ККМ;

$X_1, X_2, X_3; Y_1, Y_2, Y_3$ – поздовжні і бічні сили на колесах осей автомобіля

Дослідимо плоскопаралельний рух одноколісної (велосипедної) моделі тривісного автомобіля, вид якого в плані показаний на рис. 1.

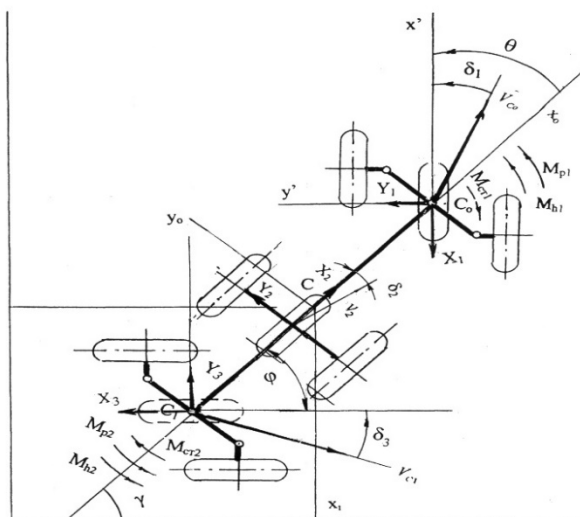


Рисунок 1 – Розрахункова схема тривісного автомобіля-цистерни на повороті [11]

Figure 1 – Calculation diagram of a three-axle tank truck on a turn [11]

Диференціальні рівняння (1) з урахуванням ексцентриситету центру мас для визначення невідомих функцій v, u, ω, φ записані у вигляді [11]:

- для змінної v

$$\begin{aligned} (m + m_1)\dot{v} - m_1(d_1 \sin \varphi + \varepsilon)\dot{\omega} + m_1 d \sin \varphi \ddot{\varphi} = (m_1 + m)\omega u \\ - m_1 c \omega^2 - m_1 d_1 \cos \varphi \times (\omega - \varphi)^2 + X_1 \cos \theta - Y_1 \sin \theta + X_2 + \\ + X_3 \cos \varphi + Y_3 \sin \varphi; \end{aligned} \quad (2)$$

- для змінної u

$$\begin{aligned} (m + m_1)\dot{u} - m_1(c_1 + d_1 \cos \varphi + \varepsilon_1 \sin \varphi)\dot{\omega} + m_1 d_1 \cos \varphi \ddot{\varphi} = -(m_1 + m)\omega v + \\ + m_1 \varepsilon \omega^2 + m_1(d_1 \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi) \times (\omega - \varphi)^2 + X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta + \\ + Y_2 - X_3 \sin \varphi + Y_3 \cos \varphi; \end{aligned} \quad (3)$$

- для змінної ω

$$\begin{aligned} \{I + m_1[c^2 + \varepsilon^2 + c d_1 \cos \varphi]\}\dot{\omega} - m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 c \dot{u} - m_1 c d_1 \cos \varphi \ddot{\varphi} = \\ m_1 c v \omega - m_1 \varepsilon u \omega - m_1 c d_1 \times \sin \varphi \times (\omega - \varphi)^2 + X_1(a \sin \theta - \varepsilon \cos \theta) + Y_1(a \cos \theta + \varepsilon \sin \theta) - \\ - X_2 \varepsilon - Y_2 b + X_3(c \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi) - Y_3(c \cos \varphi + \varepsilon \sin \varphi); \end{aligned} \quad (4)$$

- для змінної φ

$$\begin{aligned} m_1 d_1^2 \ddot{\varphi} - (I_1 + m_1 d_1^2 + \varepsilon d_1 \sin \varphi)\dot{\omega} + m_1 d_1 \sin \varphi \dot{v} + m_1 d_1 \cos \varphi \dot{u} = \\ m_1(d_1 \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi)\omega u - m_1(d \cos \varphi + \sin \varphi)v \omega - m_1[c d_1 \sin \varphi - \varepsilon d_1 \cos \varphi]\omega^2 - \\ L_1(X_3 \sin \varphi - Y_3 \cos \varphi) \end{aligned} \quad (5)$$

Щоб оцінити вплив ексцентриситету центру мас автомобіля-цистерни ε , розглянемо рівняння, яке можна отримати при $c \neq 0$ з (2) і (3), помноживши (2) на c і склавши з (3):

$$\begin{aligned} \{I + m_1 \varepsilon d_1 \sin \varphi\}\dot{\omega} + m_1 c \dot{u} - m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 \varepsilon d_1 \sin \varphi \ddot{\varphi} = \\ - m_1 c v \omega + m_1 c \varepsilon \omega^2 - m_1 \varepsilon u \omega + m_1 \varepsilon d_1 \cos \varphi (\omega - \varphi)^2 + X_1[(a + c) \sin \theta - \varepsilon \cos \theta] \\ + Y_1[(a + c) \cos \theta + \varepsilon \sin \theta] - Y_2(b - c) - \varepsilon X_3. \end{aligned} \quad (6)$$

При $\varepsilon=0$ рівняння (6) істотно спрощується:

$$I \dot{\omega} + m c (\dot{u} + v \omega) = (a + c)(X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta) - (b - c)Y_2 \quad (7)$$

Якщо $c=0$, то зв'язки між змінними v, u, ω, φ системи (2) – (5) значно слабшають, хоча й не губляться. Найбільш істотні зміни перетерплює рівняння (4), що у цьому випадку приймає вигляд

$$(I + m_1 \varepsilon^2)\dot{\omega} = m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 \varepsilon u \omega + m_1 \varepsilon d_1 \omega^2 + X_1(a \sin \theta - \varepsilon \cos \theta) + Y_1(a \cos \theta + \sin \theta) - X_2 \varepsilon - Y_2 b - \varepsilon X_3. \quad (8)$$

Якщо до того ж й $\varepsilon = 0$, з (7) маємо

$$I \dot{\omega} = a(X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta) - Y_2 b \quad (9)$$

Наявність ексцентриситету ε порушує непарність функцій $\delta_i = \delta_i(\theta, u, \omega, \varphi)$. Але й при $\varepsilon = 0$ система диференціальних рівнянь (2-5) для знаходження значень $v(t), u(t), \omega(t)$ перестає бути симетричною через змінну v , тому що $v \in R^+$, а інші величини u, ω є знакозмінними. Якщо в диференціальних рівняннях для знаходження величин u, ω покласти $X_1 = X_2 = X_3 = 0$, то навіть при $\varepsilon = 0$ система втрачає симетричність, тому що тільки X_2 парним чином залежить від u, ω .

При зсуві центра мас автомобіля-цистерни в зовнішню щодо миттєвого центра його повороту (вправо при повороті автомобіля вліво й уліво при правобічному повороті автомобіля) область припустимих значень кута θ за одних і тих же значень кутової чи бічної швидкості центра мас різко звужується. При цьому при $\varepsilon = 0,2$ значення швидкості v_{**} руху, за якої криві $\omega(\theta)$ повертають в другу сторону при $\varepsilon = 0$ лежать в інтервалі (8,5 м/с; 10,3 м/с), рис.2, тоді як для $\varepsilon = 0$ вони лежать в інтервалі 15,3 м/с; 17,4 м/с.

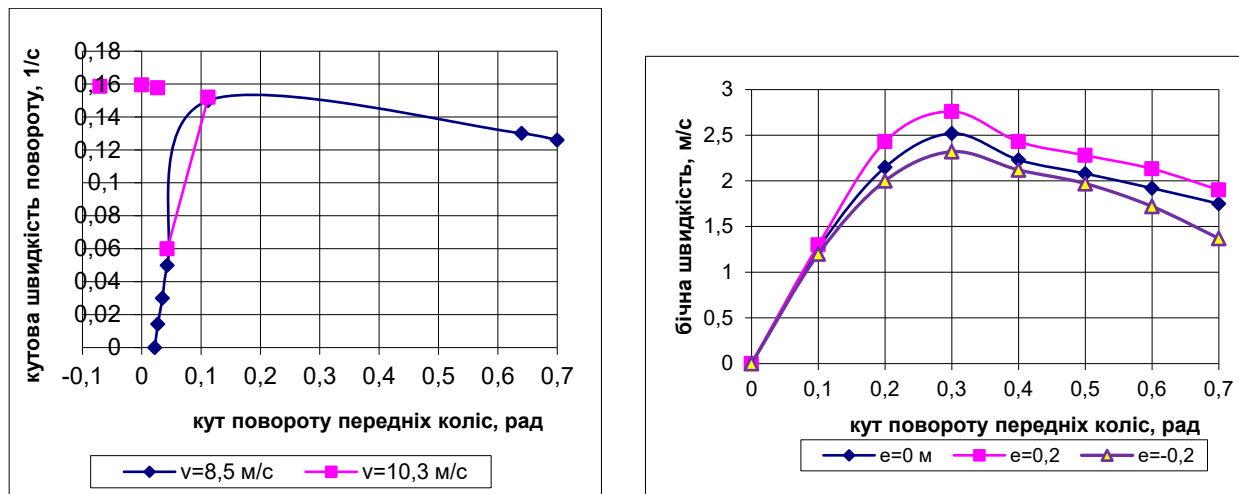


Рисунок 2 - Залежність кутової (а) і бічної (б) швидкості повороту автомобіля від кута повороту передніх керованих коліс і ексцентриситету його центру мас

Figure 2 - Dependence of the angular (a) and lateral (b) turning speed of the car from the angle of rotation of the front steered wheels and the eccentricity of its center of mass

Пояснюється це характером зміни кутів відведення на колесах осей автобуса, рис. 3.

Зважаючи на те, що кути відведення визначають собою величину бічної сили, що діє на окремі осі автомобіля, то застосування керованих коліс задньої осі і в цьому випадку призведе до поліпшення стійкості автомобіля-цистерни за рахунок зменшення як кутової, так і бічної швидкості центра мас автомобіля, а відповідно і бічних прискорень.

Застосування переднього і заднього колісного керуючого модуля призводить до поліпшення показників маневреності і стійкості руху автомобіля-цистерни. У роботі [11] показано, що ефективність застосування переднього і заднього керуючого модуля у значній мірі залежить від закону управління колесами заднього керуючого модуля, який би не тільки поліпшував показники маневреності автобуса, а й забезпечував би і стійкість його руху. Визначений у цій роботі закон управління заднього керуючого колісного модуля записано у вигляді

$$h = -\frac{k_1}{k_2} - \frac{k_2 L_1 l (c - b) + [m a L_1 + m_1 b_1 (a + c)] v^2}{k_1 L_1 l (a + c) + [m b L_1 - m_1 b_1 (c - b)] v^2}, \quad (10)$$

де k_1, k_2 – кути відведення коліс передньої і ведучої осі автомобіля-цистерни;

L_1, l – відстань від центру мас до задньої осі автомобіля.

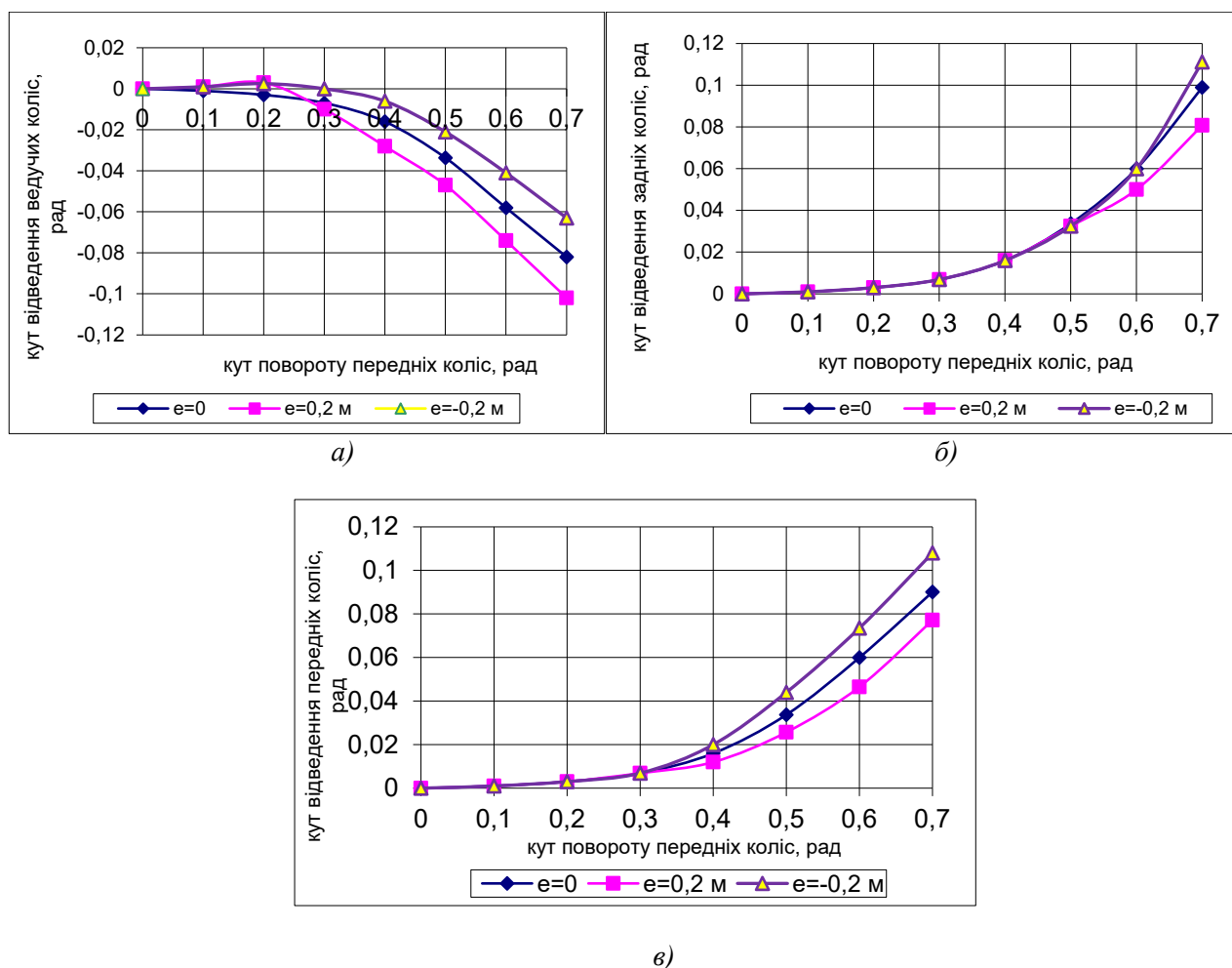


Рисунок 3 - Залежність кутів відведення коліс осей автомобіля від кута повороту керованих коліс передньої осі

Figure 3 - Dependence of the angle of departure of the wheels of the car axles from the angle rotation of the steered wheels of the front axle

Ефективність запропонованого закону управління визначається тим, що вписуваність у поворот автомобіля-цистерни з передньою та задньою керованими осями краще, ніж тільки з передньою керованою віссю, рис. 4. Цю ефективність можна оцінити відносно різницею у відсотках значень радіусу повороту при тільки передній керованій осі та керованій передній і задній осях автобуса:

$$\delta R = \frac{\left| R \right|_{h=0} - \left| R \right|_{h \neq 0}}{\left| R \right|_{h=0}} 100 \%$$

де $\left| R \right|_{h=0; h \neq 0}$ - радіус повороту автомобіля-цистерни тільки з переднім ККМ ($h=0$) і переднім і заднім ККМ ($h \neq 0$)

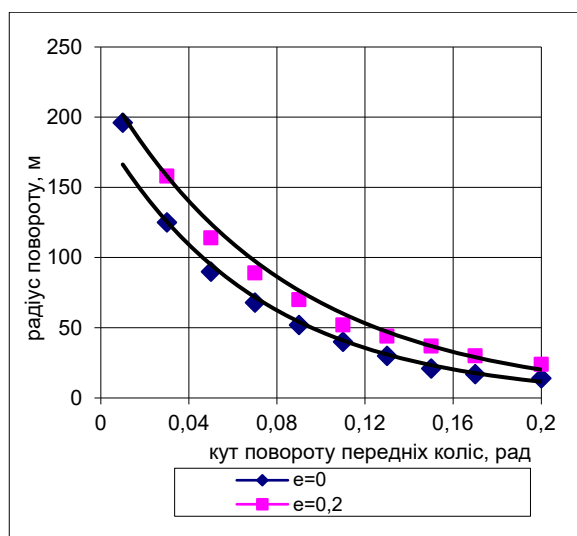


Рисунок 4 – Залежність радіусу повороту автомобіля з переднім і заднім ККМ за відсутності і наявності зміщення центру мас за швидкості 20 м/с

Figure 4 – Dependence of the turning radius of a car with front and rear KKM in the absence and presence of a displacement of the center of mass at a speed of 20 m/s

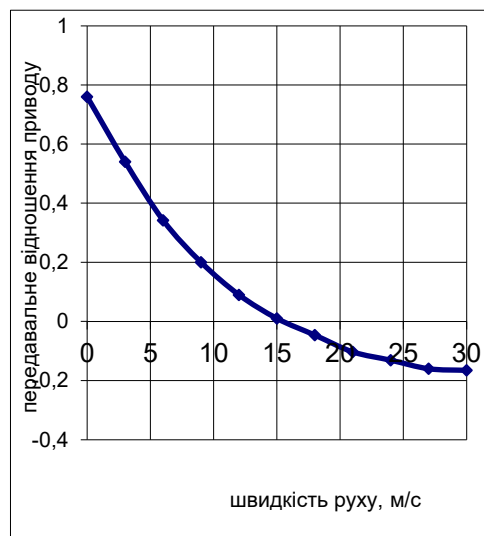


Рисунок 5 - Залежність передаточного відношення приводу управління заднім ККМ автомобіля-цистерни від швидкості його руху

Figur5 – Dependence of the transmission ratio of the control drive the rear KKM of the tank car on its speed of movement

При зміні θ величина δR змінюється в межах від 20% до 30%, збільшуючи в середньому радіус повороту автомобіля-цистерни на 25%, що призводить до збільшення його критичної швидкості руху, рис. 6. Збільшення радіусу повороту автомобіля з урахуванням зміщення центру мас пояснюється характером зміни передаточного відношення приводу управління заднім ККМ, рис. 5. У результаті збільшення радіусу повороту збільшується і критична швидкість руху автомобіля-цистерни, при цьому важливим є також форма поперечного перерізу цистерни. На рис. 6 наведена критична швидкість руху автомобіля за різної форми поперечного перерізу цистерни за умови роботи переднього і заднього ККМ.

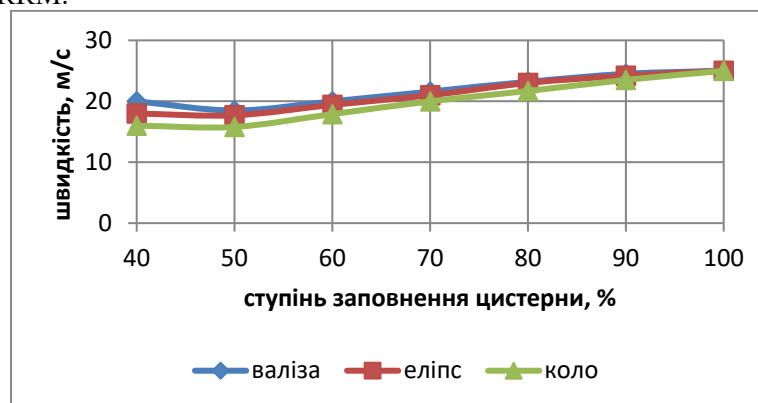


Рисунок 6 – Залежність критичної швидкості руху автомобіля за різної форми поперечного перерізу цистерни за умови роботи переднього і заднього ККМ

Figure 6 – Dependence of the critical speed of the car with different shapes of the cross-section of the tank under the condition of operation of the front and rear KKM

Аналіз рис. 6 показує, що найбільш небезпечним за критичною швидкістю руху є заповнення цистерни на 50%. При цьому кращим із поперечних перерізів цистерни є її форма у вигляді валізи. Отримані значення добре узгоджуються з результатами робіт [1] і пояснюються характером розбризкування рідини в середині цистерни при різному її заповненні. Заповнення цистерни на 50% слід уникати при експлуатації автомобілів-цистерн.

Висновки та рекомендації

1. Для визначення стійкості руху автомобіля з частково заповненою цистерною запропоновано у рівняння плоскопаралельного руху вводити зміщення центру мас (ексцентриситет) обумовлене рухом рідкого вантажу всередині цистерни.

2. Показано, що при зсуві центра мас автомобіля-цистерни в зовнішню щодо миттєвого центра його повороту (вправо при повороті автомобіля вліво й уліво при правобічному повороті автомобіля) область припустимих значень кута повороту передніх коліс θ за одних і тих же значень кутової чи бічної швидкості центра мас різко звужується. При цьому при $\varepsilon = 0, 2$ значення швидкості v_{**} руху, за якої криві $\omega(\theta)$ повертають в другу сторону при $\varepsilon = 0, 2$ лежать в інтервалі (8,5 м/с; 10,3 м/с), тоді як для $\varepsilon = 0$ вони лежать в інтервалі 15,3 м/с; 17,4 м/с.

3. Показано, що застосування переднього і заднього колісного керуючого модуля призводить до поліпшення показників маневреності і стійкості руху автомобіля-цистерни. При цьому ефективність такого застосування у значній мірі залежить від закону управління колесами заднього керуючого модуля, для якого визначений закон управління.

4. Встановлено, що при зміні кута повороту переднього і заднього ККМ за визначеним законом управління за швидкості, що перевищує 15,2 м/с, приріст радіусу повороту лежить в межах 20...30%, що призводить до збільшення критичної швидкості руху і стійкості руху автомобіля-цистерни.

5. Встановлено, що найбільш небезпечним за критичною швидкістю руху є заповнення цистерни на 50%. При цьому кращим із поперечних перерізів цистерни є її форма у вигляді валізи.

Перелік посилань

1. Xue-lian Zheng, Hao Zhang, Yuan-yuan Ren, Ze-hong Wei and Xi-gang Song. Rollover stability analysis of tank vehicles based on the solution of liquid sloshing in partially filled tanks//Advances in Mechanical Engineering 2017, Vol. 9(6) 1–26
DOI: 10.1177/1687814017703894
2. Wuhong W, Wei Z, Hongwei G, et al. A safety-based behavioural approaching model with various driving characteristics. Transport Res C: Emer 2011; 19:1202–1214.
<https://doi.org/10.1177/1687814017703894>
3. Tran Van Nhu, Nguyen Xuan Ngoc, Vu Van Tan, Dang Tien Phuc Rollover stability analysis of liquid tank truck taking into account the road profiles//Journal of Applied Engineering Science 2022, vol. 20, br. 4, str. 1133-1142. DOI: [10.5937/jaes0-36578](https://doi.org/10.5937/jaes0-36578)
4. M.F. Younes, Y.K. Younes, M. El-Madah, I.M. Ibrahim, E.H. El-Dannanh An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank//Proc. IMechE. Part M: J. Eng. Maritime Environ., 221 (2007), pp. 115-123.
DOI: [10.1243/14750902JEME59](https://doi.org/10.1243/14750902JEME59)
5. Yukun Chen, Zehong Deng, Yueshe Wang FREE LIQUID SURFACE SLOSHING IN A TANK OF A MOVING VEHICLE AND ITS SUPPRESSION//InterfacPhenomHeatTransfer. Volume 8, Issue 2, 2020, pp. 147-163
DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2020034199
6. Theory and experiments on driving stability of tank trucks under dangerous working conditions/

- Di Yu , Xiansheng Li , Hongfei Liu , Yuanyuan Ren , Jianghui Dong , Liping Wang//Journal of Vibroengineering, Vol. 17, Issue 5, 2015, p. 2521-2534.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=the+stability+of+tank+vehicles>
7. Rakheja, S. and Ranganathan, R., Estimation of the Rollover Threshold of Heavy Vehicles Carrying Liquid Cargo: a Simplified Approach, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 1, No. 1 pp. 79-98, 1993
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
8. Rakheja, S., Estimation of Rollover Threshold of Partially Filled Tank Trucks. Pro. Inst. Mech. Engrs, Vol. 205, Part D: Journal of Automobile Engineering, pp. 69-71, 1991
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
9. Bohn, P. F., Butler, M. C. and Dunkle, H. D. et al., Computer Simulation of the Effect of Cargo Shifting on Articulated Vehicles Performing Braking and Cornering Maneuvers, Vol. 1, Executive Summary, The John Hopkins University, May 1981
<https://trid.trb.org/view/172290>.
10. Шарнірно-зчленовані автобуси. Маневреність та стійкість: монографія//В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай, І.С. Мурований, О.Є. Омельницькій. –Луцьк :ІВВ Луцького НТУ, 2021. - 288 с. ISBN 978-617-672-243-4.
11. Сахно В.П. До визначення параметрів закону управління причіпною ланкою шарнірно-зчленованого автобуса особливо великої місткості/ В.П.Сахно, О.А. Веремчук, М.І. Загороднов, В.М. Сондак В.М. // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНІТ ТАУ. –2003. Окремий випуск №6. С.145-150.

ON THE QUESTION OF CREATING A TRAILER BUS TRAIN

Sakhno Volodymyr P., Honored Worker of Education of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Transport University, Head of Automobiles Department, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua, +38 0676655344, <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>,
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003877014>
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/25153362>

Popelych Denis M., magistr of transport, National Transport University, postgraduate student of Automobiles Department, e-mail: popelish@ukr.net, тел. +380677921408
<https://orcid.org/0000-0001-9506-6421>

Summary. The free flow of liquid in a partially filled mobile tank truck exerts significant forces and moments on the container shell, which, in turn, negatively affects the stability of the vehicle's movement. Most of the existing theories of fluid motion are based on assumptions about an inviscid and incompressible fluid, which has a velocity field potential that oscillates within small amplitudes commensurate with the size of the reservoir and the depth of the flow. The dynamic analysis of vehicles with partially filled tanks has been considered in relatively few studies due to the complexities involved in modeling the dynamic behavior of the fluid inside the moving tanks and the interactions with the vehicles. Simplified approaches for estimating rollover threshold values for partially loaded motor vehicles were also investigated using transverse plane moment equilibrium. These studies have shown that tank geometry is an important factor affecting the lateral movement of cargo and therefore the controllability and stability of partially filled tanks. The paper proposes an approach for determining the stability of the movement of partially filled tanks, which is based on the use of the displacement of the center of mass of the liquid cargo as the main disturbing factor. At the same time, it is shown that the use of the front and rear wheel control module leads to an improvement in the maneuverability and stability of the tank car, and the effectiveness of such application largely depends on the wheel control law of the rear control module, for which the control law is defined. It was established that when changing the angle of rotation of the front and rear steering wheel modules according to the specified control law at speeds exceeding 15.2 m/s, the increase in the turning radius is within 20...30%.

which leads to an increase in the critical speed of movement and stability movement of a tank car. At the same time, the most dangerous in terms of the critical speed of movement is filling the tank by 50%, which must be taken into account when operating tank cars.

Key words: tank car, filling, liquid cargo, steering wheel module, eccentricity, speed, stability.

References

1. Xue-lian Zheng, Hao Zhang, Yuan-yuan Ren, Ze-hong Wei and Xi-gang Song. Rollover stability analysis of tank vehicles based on the solution of liquid sloshing in partially filled tanks//Advances in Mechanical Engineering 2017, Vol. 9(6) 1–26
DOI: 10.1177/1687814017703894
2. Wuhong W, Wei Z, Hongwei G, et al. A safety-based behavioural approaching model with various driving characteristics. Transport Res C: Emer 2011; 19:1202–1214.
<https://doi.org/10.1177/1687814017703894>
3. [Tran Van Nhu](#), [Nguyen Xuan Ngoc](#), [Vu Van Tan](#), [Dang Tien Phuc](#) Rollover stability analysis of liquid tank truck taking into account the road profiles//[Journal of Applied Engineering Science](#) 2022, vol. 20, br. 4, str. 1133-1142. DOI: [10.5937/jaes0-36578](#)
4. M.F. Younes, Y.K. Younes, M. El-Madah, I.M. Ibrahim, E.H. El-Dannan
An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank//Proc. IMechE. Part M: J. Eng. Maritime Environ., 221 (2007), pp. 115-123
DOI: [10.1243/14750902JEME59](#)
5. Yukun Chen, Zehong Deng, Yueshe Wang FREE LIQUID SURFACE SLOSHING IN A TANK OF A MOVING VEHICLE AND ITS SUPPRESSION//InterfacPhenomHeatTransfer. Volume 8, Issue 2, 2020, pp. 147-163. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2020034199
6. Theory and experiments on driving stability of tank trucks under dangerous working conditions/
Di Yu , Xiansheng Li , Hongfei Liu , Yuanyuan Ren , Jianghui Dong , Liping Wang//Journal of Vibroengineering, Vol. 17, Issue 5, 2015, p. 2521-2534.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=the+stability+of+tank+vehicles>
7. Rakheja, S. and Ranganathan, R., Estimation of the Rollover Threshold of Heavy Vehicles Carrying Liquid Cargo: a Simplified Approach, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 1, No. 1 pp. 79-98, 1993. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
8. Rakheja, S., Estimation of Rollover Threshold of Partially Filled Tank Trucks. Pro. Inst. Mech. Engrs, Vol. 205, Part D: Journal of Automobile Engineering, pp. 69-71, 1991
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
9. Bohn, P. F., Butler, M. C. and Dunkle, H. D. et al., Computer Simulation of the Effect of Cargo Shifting on Articulated Vehicles Performing Braking and Cornering Maneuvers, Vol. 1, Executive Summary, The John Hopkins University, May 1981. <https://trid.trb.org/view/172290>.
10. Articulated buses. Maneuverability and stability: a monograph//V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, S.M. Sharay, I.S. Murovany, O.E. Omelnytskyi. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2021. - 288 p. ISBN 978-617-672-243-4.
11. Sakhno V.P. To determine the parameters of the control law of the trailing link of an articulated bus of particularly large capacity/ V.P. Sakhno, O.A. Veremchuk, M.I. Zagorodnov, V.M. Sondak V.M. // Highway of Ukraine. Installment. Herald of the Central TAU TAU. -2003. Separate issue №6. P.145-150.

УДК 339.944
UDC 339.944

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-193-200

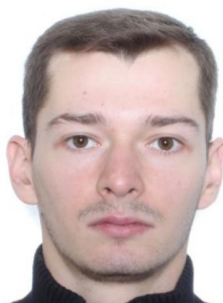
**РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЇ ВИХОДУ УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ НА
МІЖНАРОДНІ РИНКИ**

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A STRATEGY FOR UKRAINIAN
ENTERPRISES TO ENTER INTERNATIONAL MARKETS**



Левчук Наталія Миколаївна, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, NatalyaLevchuk.03@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-1296-7182>



Гавриленко Нікіта Юрійович, магістр економіки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rocketnik13@gmail.com,

<https://orcid.org/0009-0004-4892-0145>

Анотація. В статті дослідженні аспекти розробок та застосування міжнародних стратегій підприємствами, в тому числі українськими для просування продукції на зовнішніх ринках.

Визначені переваги та недоліки українських підприємств при виході їх на міжнародні ринки.

Висвітлений процес розробки стратегії поведінки організації на зовнішньому ринку та їх рівні.

Розглянуті задачі стратегічного планування та його організації: створення управлінської структури, розробка правил її функціонування та підбір і мотивація персоналу.

Проаналізовані два типи стратегій українських підприємств на зовнішніх ринках: «початкове нагромадження капіталу» та «довготривалого перебування».

Досліджені основні причини, що перешкоджають підприємствам реалізувати вибрану стратегію.

Розробка і реалізація стратегії виходу українських підприємств на зовнішні ринки сприяє підвищенню їх конкурентоспроможності та зміцненні позиції на міжнародному ринку.

Ключові слова: стратегія, реалізація стратегії, українські підприємства, зовнішній ринок, міжнародні стратегії.

Актуальність. Активна інтеграція України в світовий економічний простір в умовах глобалізації вимагає постійного набуття широкого спектра знань та навичок з організації міжнародної економічної діяльності. Від умінь визначати перспективні напрямки та застосовувати ефективні форми міжнародної економічної взаємодії залежить знання міжнародного економічного середовища, розуміння його впливу на економічний потенціал іноземного партнера. Зростає також

усвідомлення того, що у високо динамічних конкурентних середовищах традиційний підхід до розробки стратегії часто не дає бажаних результатів, і підприємства повинні орієнтуватись на більш динамічні концепції, оскільки основні умови змінюються раніше, ніж сформульовані стратегії досягають цілковитого втілення.

Вирішення проблеми виходу компаній на міжнародний ринок передбачає, як правило, з'ясування двох основних питань: мотивів підприємств до виходу на зовнішні ринки і чинників, які визначають вибір форми виходу підприємств на зовнішні ринки.

При цьому слід зазначити, що процеси глобалізації у світовій економіці підсилюють тенденцію до необхідності прискорення виходу компаній на вищезазначені ринки.

Отже, актуальність розробки та реалізації стратегії виходу українських підприємств на міжнародні ринки полягає у необхідності забезпечення стійкого розвитку української економіки, зміцнення позицій українських підприємств на міжнародному ринку та забезпечення їх конкурентоспроможності в умовах глобалізації економіки.

Постановка задачі. Метою статті є дослідження аспектів розробок та застосування міжнародних стратегій підприємствами, в тому числі українськими, задля просування продукції на зовнішніх ринках.

Аналіз основних досліджень і публікацій. У дослідженні стратегій виходу на міжнародні ринки брали участь багато вітчизняних та зарубіжних економістів та дослідників, такі як: Логвінова Н. С., Портнов М., Кобець С., Котлер Ф., Кириченко О. А., Козак Ю. Г., Божиків А., Стефаненко А., Чайлд Д., Пітеклі Р., Трохименко Н., Прокопенко І., Грант Р.М. Ці дослідники зосереджуються на різних аспектах стратегій виходу на міжнародні ринки та досліджують їх на прикладі різних компаній та країн. Враховуючи ці дослідження, можна розробити більш ефективні стратегії виходу українських підприємств на міжнародні ринки.

Виклад основного матеріалу. Розробка і реалізація стратегії виходу українських підприємств на міжнародні ринки є надзвичайно важливою в сучасному світі. З одного боку, українські підприємства мають великий потенціал для розвитку на зовнішніх ринках завдяки своїм конкурентним перевагам, таким як доступність робочої сили, низькі заробітні плати, розвинутість технічної інфраструктури тощо.

З іншого боку, відкритість світової економіки, розвиток інтернет-технологій та зростаюча конкуренція змушують українські підприємства шукати нові ринки збуту та інвесторів за межами України. Також, у зв'язку зі зміною економічної ситуації, обмеженим внутрішнім ринком та залежністю від експорту сировини, для забезпечення стійкого розвитку економіки України потрібно активізувати виробництво готової продукції та вивозити її на міжнародні ринки.

Отже, розробка та реалізація стратегії виходу українських підприємств на міжнародні ринки не тільки допоможе підприємствам знайти нові ринки збуту, але й забезпечить стабільний розвиток української економіки в цілому. При цьому, вирішення таких завдань, як пошук партнерів, вивчення особливостей законодавства та підходів до бізнесу в різних країнах, а також побудова ефективних комунікаційних каналів в міжнародному середовищі, також є важливими аспектами, які потрібно враховувати при розробці стратегії виходу на міжнародні ринки.

Крім того, розробка стратегії виходу на міжнародні ринки може забезпечити підприємствам значні економічні переваги, зокрема збільшення обсягів продажів, підвищення рентабельності, розширення асортименту продукції та підвищення її якості. Крім того, це може допомогти українським підприємствам зміцнити свої позиції на міжнародному ринку та визнання їх як інноваційних і конкурентоспроможних учасників світової економіки.

Не менш важливим є те, що розробка та реалізація стратегії виходу на міжнародні ринки може допомогти українським підприємствам у розвитку своїх компетенцій, зокрема у вдосконаленні менеджменту, маркетингу та логістики, які є ключовими факторами конкурентоспроможності в умовах глобалізації економіки.

Стратегія – це взаємозв'язаний комплекс дій, які здійснює фірма для досягнення цілей з урахуванням власного ресурсного потенціалу, факторів обмежень зовнішнього середовища. Стратегія

– це об'єднаний план, що інтегрує всі складові елементи фірми і різні аспекти її діяльності. Всі складові стратегії повинні бути об'єднані і сумісні між собою [1].

Місце стратегій у міжнародному бізнесі визначаються такими особливостями: стратегія дає визначення основних напрямків і шляхів зміцнення, зростання і змін через концентрацію зусиль на певних пріоритетах; стратегія – це основа для вироблення стратегічних планів, проектів і програм, а також основних критеріїв, що використовуються для вибору найбільш обґрунтованих ефективних та необхідних планів, проектів і програм з наявного переліку для подальшого виконання, відкинувши несумісні із загальною стратегією; стратегія змінюється, коли досягнуто певних параметрів; стратегія формується на основі узагальненої, неповної та недостатньо точної інформації; стратегія постійно уточнюється у процесі діяльності, чому сприяє добре налагоджений зворотній зв'язок у системі управління; підприємство керується системою стратегій (стратегічним набором), оскільки воно є багатоцільовою системою і може використовувати різні шляхи (стратегії) досягнення різних цілей; стратегія – це основа для формування і змін організаційної структури; стратегія – це фактор стабілізації відносин, тому що дає змогу відчувати контроль за ситуацією і знизити невизначеність процесів, що відбуваються у зовнішньому і внутрішньому середовищі.

Стратегія являє собою ділову концепцію (бізнес-концепцію) і набір конкретних дій, спроможних створити реальні конкурентні переваги, які здатні зберігатися тривалий час.

Ключові елементи стратегії: - корпоративна місія; конкурентні переваги; організація бізнесу; продукція; ринки; ресурси; структурні зміни; програми розвитку; культура і компетентність управління.

Стратегічне планування – це процес визначення основної лінії організації, довгострокових цілей і виконання планів діяльності щодо досягнення зазначених цілей [2].

Стратегічне планування визначається такими ознаками:

- на відміну від довгострокового екстраполятивного планування, коли прогноз розроблявся кожною функціональною службою, яка мала на меті свої власні інтереси, стратегічне планування базується на принципово новому підході до прогнозування стану навколишнього середовища - виділяються стратегічні зони господарювання (СЗГ) та стратегічні господарські центри (СГЦ). СЗГ - це окремі сегменти зовнішнього середовища або ринково-продуктові сегменти, на які фірма повинна чи хоче отримати вихід;

- важливою ознакою стратегічного планування є аналіз як зовнішнього середовища, так і внутрішніх можливостей підприємства;

- розробка стратегії є невід'ємною частиною стратегічного планування. Методика стратегічного планування передбачає розробку багатоваріантної стратегії. Кожен варіант стратегії орієнтований на розвиток підприємства

- залежно від стану зовнішнього середовища.

За іншою версією стратегія допускає розробку обґрунтованих заходів і планів досягнення намічених цілей, у яких повинні бути враховані увесь потенціал організації.

Стратегічне планування включає:

- прогнозування (передбачення результатів розвитку), що здійснюється під дією існуючих факторів;

- головну лінію поведінки організації (місію) і мету менеджменту; перспективне планування;

- контроль;

- координацію і регулювання, за допомогою яких усуваються відхилення спланованих підсумків від поставленої мети [3].

Поведінка організації на зовнішньому ринку значною мірою визначається внутрішніми можливостями і перспективами розвитку при досягнутому рівні стратегічного управління. У той самий час стратегія зовнішньоекономічної діяльності є однією з важливих складових стратегічного плану підприємства і системи стратегічного управління.

Процес розробки стратегії поведінки організації на зовнішньому ринку включає шість етапів:

- всебічний аналіз стану і розвитку зовнішньоекономічної діяльності;

- аналіз очікуваних змін у кон'юктурі зовнішнього ринку;
- аналіз можливостей на зовнішньому ринку з урахуванням прогностичних змін у його кон'юктурі;
- аналіз внутрішньої і зовнішньої бюджетно-податкової політики і впливи змін у ній на умови діяльності організації;
- аналіз тенденцій розвитку світової економіки, стан і тенденції розвитку світового ринку, включаючи ринок кредиту, зовнішньоторговельної політики різних країн, оцінка впливу змін у ній на умови функціонування організації;
- розробка довгострокової стратегії зовнішньоекономічної діяльності з урахуванням існуючого і прогнозного стану на зовнішніх ринках, а також можливостей і очікуваних змін в умовах функціонування підприємства.

Таким чином, стратегічний менеджмент у сфері зовнішньоекономічних зв'язків сприяє стабілізації і зміцненню стратегічних позицій підприємства.

забезпеченню його тривалої життєздатності при зміні зовнішніх умов функціонування.

Розробка стратегії поведінки підприємства на зовнішньому ринку здійснюється на трьох різних рівнях: глобальному, тактичному та стратегічному, особливості яких наведені наочно в структурно-логічній таблиці 1.

Організація стратегічного планування включає 2 основні складові: а) створення відповідної структури; б) забезпечення її функціонування.

Невдала і нераціональна побудова організаційних зв'язків є головною причиною неефективного вирішення поставлених завдань, тому вказані складові потрібно розглядати в поєднанні.

Забезпечення діяльності створеної структури передбачає виділення всіх необхідних для цього ресурсів та їх ефективне використання.

Організація стратегічного планування передбачає вирішення таких задач:

- створення управлінської структури, яка реалізує функцію стратегічного планування. Всі зв'язки і взаємодії всередині цієї структури спрямовуються саме на повноцінне стратегічне планування, як пріоритетний вид управлінської діяльності, спроможний забезпечити системне прийняття ефективних рішень;
- розробка правил функціонування структури. Правила функціонування структури закріплені посадовими інструкціями, положеннями про служби і підрозділи. Такі документи створюють основу для ефективного стратегічного планування і регулюють діяльність фірми. При розробці правил функціонування структури враховують формальну і неформальну організаційну культуру, культуру стратегічного планування, одночасний вплив двох національних культур: своєї країни і країни розміщення;
- підбір і мотивація персоналу. Тільки спільна робота представників різних груп персоналу згідно детально розроблених процедур приведе до бажаного результату. Це визначає головний критерій підбору кадрів: здатність вирішувати на високому рівні всі завдання, які покладаються на співробітника, котрий займає певну посаду. У фірмі повинні бути чітко розподілені функції по стратегічному плануванню: вище керівництво створює структуру стратегічного планування, стимулює учасників, розробляє основні напрями діяльності фірми на тривалу перспективу, забезпечує зв'язки між окремими ланками і виконавцями. Планова служба організовує процес планування, проводить аналіз і оцінку пропозицій, консультує інших учасників.

Мотивація учасників процесу стратегічного планування спирається на певні цінності, сукупність яких у кожній місцевій національній культурі своя і часто має різкі контрасти порівняно із країною базування. Тому, для кожної групи людей, які приймають участь у стратегічному плануванні, повинні бути виявлені найбільш пріоритетні мотиви, які мають особливе значення для ефективного виконання їх ролей.

Таблиця 1 – Рівні розробки стратегії поведінки підприємства на зовнішньому ринку

Table 1 - Levels of development of the strategy of the enterprise's behavior in the foreign market

Рівні розробки стратегії поведінки підприємства на зовнішньому ринку		
Глобальний	Тактичний	Стратегічний
охоплює довгострокові	планування ЗЕД	розробка стратегії
аспекти діяльності на	концентрується на	поведінки
основі визначення	визначенні конкретних	підприємства
найважливіших цілей,	цілей, досягнення яких є	здійснюється на
сукупність яких	умовою ефективного	перспективу
розглядається як єдине	використання наявних	
ціле; при цьому планування	ресурсів для реалізації	
здійснюється на рівні	глобальних цілей на	
керівництва підприємства	існуючих ринках збуту	

Організація інформаційного забезпечення. Важливим елементом системи стратегічного планування є зворотній зв'язок з покупцями. Щоб володіти достовірною інформацією, необхідно налагодити постійно діючий зворотній зв'язок, тобто, із певною частотою проводити опитування покупців, яке охоплює ту чи іншу кількість сторін діяльності фірми у відповідності із стратегічною проблемою, яку вирішують.

Для ефективного включення у світовий економічний простір українським підприємствам необхідно виробляти таку продукцію, яка буде конкурентоспроможною на зовнішніх ринках. Це може бути досягнуто на підставі розробки стратегії просування національного експорту на світовому ринку. Така стратегія повинна полягати не в простому нарощуванні обсягів експорту, а в сприянні створенню довгострокових конкурентних переваг та стабільному розширенні, якісному поліпшенні, на основі цих переваг, позицій країни на світовому ринку [4].

Якщо проаналізувати стратегії українських підприємств на зовнішніх ринках можна виділити два типи протилежні за цілями та основними методами реалізації. Стратегія «початкове нагромадження капіталу» (отримання максимального прибутку сьогодні, до того ж будь-якими шляхами) і стратегія «довготривалого перебування» (стабільне зростання бізнесу у визначеному напрямку та стилі).

О. Кириченко вважає, що вибір стратегії виходу пов'язаний насамперед із роллю і масштабами ЗЕД для конкретного підприємства [5]. Якщо ЗЕД займає незначне місце в загальних результатах, то навряд чи доцільно витрачати багато зусиль на розробку спеціальної зовнішньої стратегії. І навпаки, зі збільшенням масштабів ЗЕД, а також в умовах наростання конкуренції на міжнародних ринках

варто не тільки мати спеціальні стратегії але і створювати систему міжнародного стратегічного менеджменту. Вона включає не тільки розробку стратегії але і її реалізацію та стратегічний контроль.

Основні причини, які перешкоджають підприємствам реалізувати вибрану стратегію такі:

- неправильно проведений аналіз та помилкові висновки;
- непередбачувані зміни у зовнішньому середовищі;
- невміння залучити до реалізації стратегії внутрішній потенціал

Успішній реалізації стратегії сприяє виконання таких вимог: цілі стратегії повинні бути добре структуровані, доведені до працівників та сприйняті ними; необхідно мати чіткий план дій для реалізації стратегії, який передбачає наявність усіх необхідних ресурсів.

У виборі напрямку розвитку стратегії необхідно передусім орієнтуватися на конкурентні переваги підприємства. Залежно від наявних конкурентних переваг та конкурентних бар'єрів усі фірми можна поділити на дві групи: сильні та слабкі. Підхід до вибору стратегій у них різний.

Політика сильних підприємств зводиться до наступного: максимальне використання переваг лідируючого положення, посилення позицій; розгортання бізнесу в нових для фірми сферах діяльності, у випадку занепаду яких необхідно робити ставку на диверсифікацію. Слабкі компанії повинні обирати стратегії, що ведуть їх до росту. Якщо такі стратегії відсутні, то вони повинні покинути даний вид економічної діяльності. Це підтверджується статистикою: великі (більше 250 працівників) та середні (від 51 до 249 працівників) підприємства вважаються сильними, у той час як малі (до 50 працівників) – слабкими [6].

Українські економісти наводять три основні способи виходу на зовнішні ринки: експорт; спільна підприємницька діяльність; стратегія прямого інвестування.

Застосовуючи першу стратегію фірма виготовляє свої товари на території власної країни, а потім експортує їх. Переваги цього способу такі: мінімальні зміни у товарному асортименті підприємства та його структурі; мінімальні інвестиційних витрати та поточні зобов'язання; мінімізація ризиків при вході на ринок та легкість виходу.

Стратегія виходу підприємства на зовнішні ринки за рахунок створення спільних підприємств ґрунтується на поєднанні зусиль фірми із ресурсами підприємств країни-партнера з метою створення виробничих та маркетингових потужностей. Існують чотири різновиди спільної підприємницької діяльності: ліцензування; виробництво за контрактом; управління за контрактом; підприємства спільного володіння.

«Стратегія прямого інвестування полягає в тому, що в процесі ведення зовнішньої торгівлі, з часом підприємство засновує за кордоном власні виробничі філії для виготовлення товарів ЗЕД» [7]. Дану стратегію некоректно розглядати в якості стратегії виходу на зовнішні ринки, оскільки вона має більш ширші стратегічні цілі.

Також окремі стратегії міжнародного маркетингу підприємства зараховують до стратегій виходу на зовнішні ринки. Сюди відносяться такзвані «цінові стратегії» – це принципи призначення ринкової ціни на продукт чи послугу. Політика підприємства у сфері формування цін є стратегічним питанням, оскільки вона впливає на прибуток, рівень попиту, прихильність споживачів, способи просування товару на ринок. Зазвичай виділяють три групи цінових стратегій: піонерні; стандартні; адаптаційні.

Висновки. Необхідність забезпечення стійкого розвитку української економіки, зміцнення позицій наших підприємств на міжнародному ринку та забезпечення їх конкурентоспроможності в умовах глобалізації визначає актуальність розробки та реалізації стратегій їх виходу на міжнародні ринки.

В статті досліджені аспекти розробок та застосування міжнародних стратегій підприємствами, в тому числі українськими для просування продукції на зовнішніх ринках.

Визначені недоліки українських підприємств при виході на міжнародні ринки, такі як: обмеженість ринку, залежність від експорту сировини, нестабільна політична ситуація.

Серед переваг українських підприємств виділяють такі: доступність робочої сили, низькі заробітні плати, розвинутість технічної інфраструктури тощо.

Розглянуті ключові елементи стратегії: корпоративна місія, конкурентні переваги, організація бізнесу, продукція, ринки, ресурси, структурні зміни, програми розвитку, культура і компетентність управління. Виокремлені ознаки стратегічного планування. Внутрішні можливості і перспективи розвитку значною мірою визначають поведінку організації на зовнішньому ринку та на даний процес цієї розробки.

Проаналізовані рівні розробки стратегії поведінки підприємства на зовнішньому ринку, такі як: глобальний, тактичний і стратегічний.

Визначені головні причини неефективного вирішення поставлених завдань, такі як: невдала і нерациональна побудова організаційних зв'язків.

Розглянуті також задачі організації стратегічного планування: створення управлінської структури, розробка правил її функціонування та підбір і мотивація персоналу.

Проаналізовані два типи стратегій українських підприємств на зовнішніх ринках, які протилежні за цілями та основними методами реалізації. Це – стратегія «початкове нагромадження капіталу» - отримання максимального прибутку сьогодні будь-якими шляхами та стратегія «довготривалого перебування» - це стабільне зростання бізнесу у визначеному напрямку та стилі.

Досліджені основні причини, які перешкоджають підприємствам реалізувати вибрану стратегію, серед них: неправильно проведений аналіз та помилкові висновки; непередбачувані зміни у зовнішньому середовищі; невміння залучати до реалізації стратегії внутрішній потенціал.

Вибір оптимальної стратегії є ключовим фактором успіху підприємства, оскільки він повинен враховувати ситуацію на міжнародному ринку та потенційну конкуренцію. Аналіз основних причин, які перешкоджають реалізації вибраної стратегії, дозволяє підприємствам уникнути помилок та підвищити ефективність стратегії в майбутньому.

Отже, розробка та реалізація стратегії виходу на міжнародні ринки є складним та важливим етапом для українських підприємств, але її успішна реалізація дозволить забезпечити стабільний розвиток та підвищення конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Перелік посилань

1. Мінцберг, Г., Куїнн, Дж., Гуайл, С. Основи стратегічного менеджменту. Київ: Видавництво "КМ-Букс", 2018. - 432 с.
2. Грант Р. М. Стратегічне управління / Р. М. Грант. - Київ: ТОВ "Наш Формат", 2018. - 384 с.
3. Електронне джерело / Навчальний посібник <http://dspace.wunu.edu.ua/retrieve/52472/lekzii.pdf>.
4. Козак Ю.Г., Логвінова Н.С., Сіваченко І.Ю. Зовнішньоекономічна діяльність підприємств / навч. пос. Київ / Центр навч.л-ри, 2016. 792с.
5. Кириченко О. А. Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності: навч. посіб. / О. А. Кириченко. К.: Знання-Прес, 2002. – 384 с.
6. Розробка стратегії виходу підприємства на зовнішній ринок. Летнянчин Христина / Тернопільський національний економічний університет Навчально-науковий інститут міжнародних економічних відносин ім. Б.Д. Гаврилишина / ТЕРНОПІЛЬ - 2018.
7. Дідківський М.І. Зовнішньоекономічна діяльність підприємства: Навч. Пос/ М.І. Дідківський – К.: Знання, 2006. – 462 с.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A STRATEGY FOR UKRAINIAN ENTERPRISES TO ENTER INTERNATIONAL MARKETS

Levchuk Natalia M., Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, NatalyaLevchuk.03@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1296-7182>

Havrylenko Nikita Y., master of economic, National Transport University, Kyiv, Ukraine, rocketnik13@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4892-0145>

Abstract: The article examines the aspects of development and application of international strategies by companies, including Ukrainian ones, for promoting their products on foreign markets. The advantages and disadvantages of Ukrainian companies in entering international markets are determined. The process of developing an organizational behavior strategy on the foreign market and its levels are highlighted. The tasks of strategic planning and its organization are considered: creating a management structure, developing rules for its functioning, and selecting and motivating personnel. Two types of strategies of Ukrainian companies on foreign markets are analyzed: "initial capital accumulation" and "long-term stay". The main reasons that hinder companies from implementing their chosen strategy are studied. The development and implementation of the strategy of Ukrainian companies entering foreign markets contribute to increasing their competitiveness and strengthening their position in the international market.

Keywords: strategy, implementation of the strategy, Ukrainian companies, foreign market, international strategies.

References

1. Mintzberg, H., Quinn, J., & Ghoshal, S. (2018). The Strategy Process: Concepts, Contexts, Cases. Kyiv: KM-Books. - 432 p.
2. Grant R. M. Stratehichne upravlinnya / R. M. Grant. - Kyiv: TOV "Nash Format", 2018. - 384 s.
3. Elektronne dzherelo / Navchalnyi posibnyk <http://dspace.wunu.edu.ua/retrieve/52472/lekzii.pdf>.
4. Kozak Y.H., Lohvinova N.S., Sivachenko I.Y. Zovnishnoekonomichna diialnist pidprijemstv / navch. pos. Kyiv / Tsentr navch.l-ry, 2016. 792s.
5. Kyrychenko O. A. Menedzhment zovnishnoekonomichnoi diialnosti: navch. posib. / O. A. Kyrychenko. K.: Znannia-Pres, 2002. - 384 s.
6. Development of enterprise strategy to enter the foreign markets. Letnyanchyn K. / Ternopil National Economic University, Educational and Scientific Institute of International Economic Relations named after B.D. Gavrylyshyn / TERNOPIL - 2018.
7. Didkivskyi M.I. Zovnishnoekonomichna diialnist pidprijemstva: Navch. Pos/ M.I. Didkivskyi - K.: Znannia, 2006. - 462 s.

ВПЛИВ СФЕРИ ПОСЛУГ НА ЗМІЦНЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЕКОНОМІКИ
УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВTHE IMPACT OF THE SERVICE SECTOR ON STRENGTHENING THE COMPETITIVENESS
OF THE UKRAINIAN ECONOMY IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION PROCESSES

Федорук Олеся Володимирівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Економіка», e-mail: olesiayfedoruk@gmail.com, тел.: +380977487357, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1,

<https://orcid.org/0000-0002-7402-4174>

Анотація. Стаття присвячена дослідженню впливу сфери послуг на конкурентоспроможність економіки України. Виявлено, що вплив сфери послуг має прямий та опосередкований характер. Визначено, що прямий вплив проявляється через розвиток міжнародної торгівлі послугами та формування місця країни в поділі праці. Дослідження зовнішньої торгівлі України показало значно менші обсяги експорту послуг порівняно з експортом товарів. Водночас було виявлено, що частка України на світових ринках послуг та товарів є приблизно однаковою, що дозволило зробити висновок про перспективність розвитку міжнародної торгівлі послугами для посилення позицій України на світовій арені. Враховуючи визначені СОТ тенденції розвитку світової торгівлі послугами, запропоновано такі вектори розвитку зовнішньої торгівлі послугами: розвиток ІТ-послуг, зростання туристичних послуг, підтримка експорту транспортних послуг. Встановлено, що опосередкований вплив обумовлений використанням послуг іншими секторами економіки та населення. Запропоновано комплекс заходів вдосконалення функціонування сфери послуг.

Ключові слова: сфера послуг, конкурентоспроможність, національна економіка, глобалізаційні процеси, міжнародна торгівля, спеціалізація, транспортні послуги, туристичні послуги, інформаційні послуги.

Вступ. В умовах зростання економічної диверсифікації між країнами світу та посилення глобалізаційних процесів забезпечення високого рівня конкурентоспроможності національної економіки є одним з основних пріоритетів реалізації системи державних інтересів України. У контексті посилення конкурентних позицій економіки України в системі глобального поділу праці перспективним напрямом реалізації є використання досягнень сфери послуг.

Сфера послуг в умовах постіндустріальної епохи економічного розвитку світу є галуззю національної економіки, яка здатна показати стрімке зростання та залучити істотні фінансові ресурси протягом коротких проміжків часу. Зазначені обставини обумовлюють актуальність дослідження напрямів розвитку сфери послуг для формування конкурентних переваг України на світовому ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окремі аспекти досліджуваної теми знайшли своє відображення у працях таких науковців, як: А.О. Вікулова, З.М. Герасимів, С.М. Домбровська, Т.М. Мельник, К.Й. Пугачевська та інших. Однак існуючі публікації зосереджувались на дослідженні особливостей та перспектив функціонування сфери послуг в цілому та її окремих секторів на

внутрішньому та світовому ринку, не акцентуючи увагу на впливі, який чинить сфера послуг на конкурентоспроможність економіки України в цілому.

Постановка завдання. Основними цілями статті є: дослідження впливу сфери послуг на конкурентоспроможність національної економіки, формування заходів щодо вдосконалення функціонування сфери послуг в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Частка країни на світових ринках є одним із ключових показників конкурентоспроможності національної економіки в умовах глобального світу. Розвиток міжнародної торгівлі та міжнародна спеціалізація країни на виробництві товарів та послуг значною мірою визначають її позиції в системі глобального поділу праці. Зовнішня торгівля забезпечує зростання ВВП країни, дозволяє залучити значні валютні ресурси до національної економіки, сприяє збільшенню прибутковості підприємств.

Зовнішня торгівля України в останні роки не демонструвала стабільних тенденцій розвитку, що було пов'язано з суттєвою внутрішньоекономічною нестабільністю та негативним впливом зовнішніх факторів. Після періоду поступового зростання експорту й імпорту товарів і послуг, у 2020 році відбулося скорочення всіх показників міжнародної торгівлі, що було викликано введеними на фоні пандемії COVID-19 карантинними обмеженнями. Міжнародна торгівля послугами значно більше постраждала від введених обмежень – експорт послуг втратив більше 10 %, тоді як експорт товарів зменшився лише на 2 %, імпорт послуг впав майже на 29 % за умови скорочення імпорту товарів майже на 14 % [1].

У 2021 році відбулось швидке відновлення зовнішньої торгівлі України. Експорт товарів та послуг, а також імпорт товарів в даному році не лише зміг відновити втрачені внаслідок впровадження коронавірусних обмежень обсяги, а й показати суттєве зростання: експорт товарів у 2021 році зріс майже на 37 % порівняно з 2019 роком, імпорт товарів – на 15,6 %; експорт послуг – на 5,3 %. Імпорт послуг не зміг відновитися до докартинного рівня. Повільніші темпи відновлення сфери послуг було зумовлено збереженням частини обмежень на переміщення населення, а також зниженням попиту на окремі види послуг.

Варто зазначити, що сальдо торгівлі послугами зберігало позитивне значення протягом всього досліджуваного періоду, на відміну від торгівлі товарами, сальдо якої демонструвало від'ємне значення. Подібні тенденції свідчать про істотний рівень залежності України від імпорту товарів та недостатності обсягів експорту товарів для покриття імпорту. Водночас, експорт послуг повною мірою покриває імпорт, що свідчить про нижчий рівень залежності сфери послуг від імпорту.

Відповідно до даних Світової організації торгівлі, експорт товарів України становив 0,3 % від світового товарного експорту, імпорт – 0,32%. Україна у 2021 році зайняла 43 місце серед усіх країн світу за обсягами експорту послуг (0,31 % світового експорту послуг), за обсягами імпорту Україна знаходилась на 50 позиції (0,28 % імпорту послуг світу) [2].

Найбільше Україною було експортовано сільськогосподарської та промислової продукції (частка кожної позиції складала 32 %). Майже 10 % експорту припадало на мінеральні продукти, ще 9 % – на інформаційні послуги та 6 % – на інформаційні послуги [3]. Основу імпорту України складала промислова продукція – на неї припадало більше половини сукупного імпорту країни за рік. Суттєвими в структурі імпорту були частки мінеральних продуктів (16 %), сільськогосподарської продукції (9 %) та послуг, пов'язаних з подорожами (7 %).

Значну частку українського імпорту в сфері послуг займають наукові, високотехнологічні професійні послуги: державні та урядові послуги; фінансові послуги; ділові послуги; роялті та пов'язані з інтелектуальною власністю послуги; послуги, пов'язані з подорожами. Така тенденція засвідчує факт невідповідності національної сфери послуг вимогам та викликам постіндустріального розвитку, а також існування в національній економіці потреб в оптимізації та зростанні економічної діяльності підприємств, необхідності та активізації процесів включення національних господарюючих суб'єктів до світового економічного простору, спрощення доступу до світових ринків капіталу з більш ліберальними умовами фінансування [4].

За результатами аналізу зовнішньої торгівлі України та враховуючи дані Світової організації торгівлі можна зробити висновок, що перспективним напрямом посилення конкурентоспроможності України є розвиток міжнародної торгівлі послугами. Незважаючи на значну перевагу в обсягах торгівлі товарами над торгівлею послугами (експорт товарів майже в 3,5 рази перевищує експорт послуг), Україна займає приблизно рівні частки на світових ринках товарів та послуг (близько 0,3 % на кожному). Це свідчить про жорстку конкуренцію на товарних ринках, що істотно зменшує можливість України вести ефективну конкурентну боротьбу на них у найближчий перспективі без проведення технічного вдосконалення виробничих галузей. Водночас, отримані дані дозволяють зробити висновок про значно нижчий рівень конкуренції на ринках послуг. Тому саме в розвитку сфери послуг вбачається шлях посилення місця України в глобальному поділі праці.

Забезпечення ефективного розвитку сфери послуг вимагає від України врахування особливостей та тенденцій розвитку світового ринку послуг. Світова організація торгівлі ідентифікувала низку трендів у світовій торгівлі (рис. 1) [5].

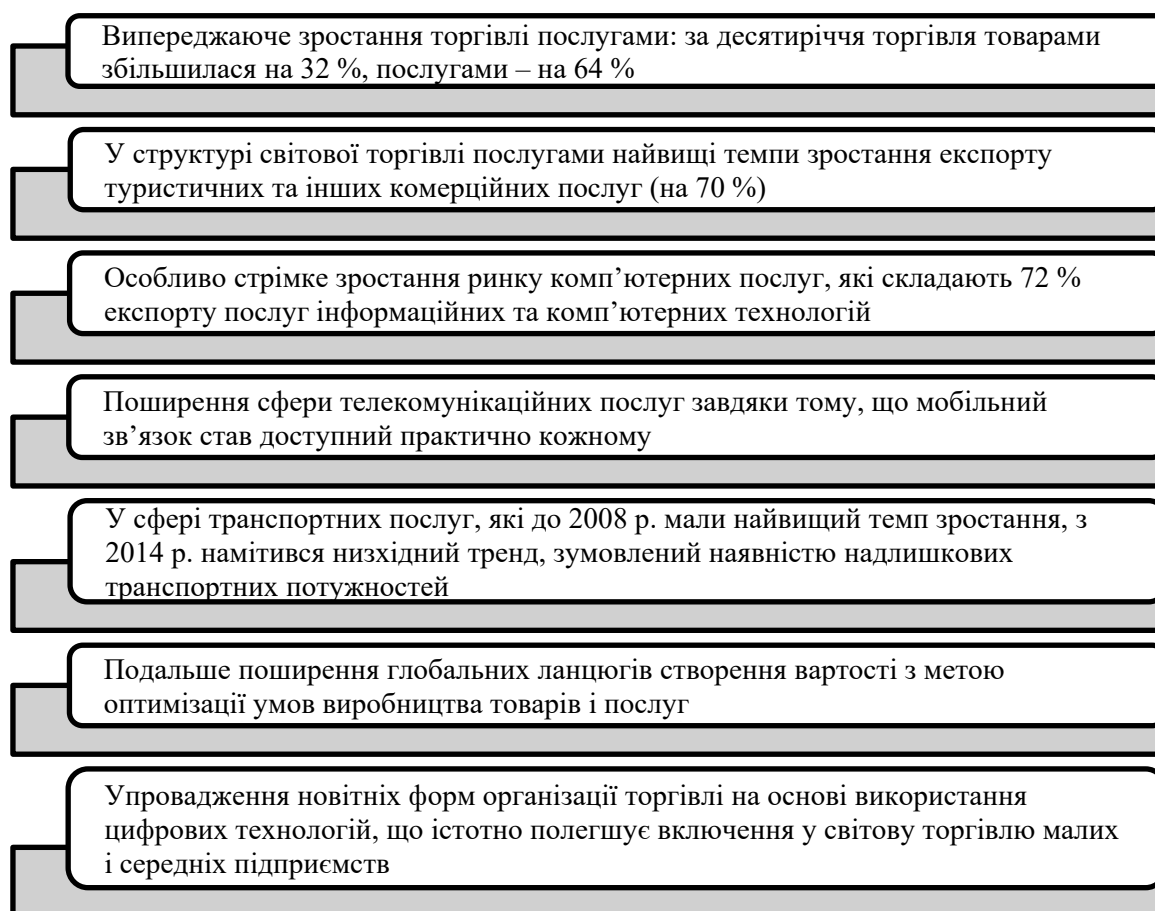


Рисунок 1 – Ключові тренди світової торгівлі товарами та послугами

Figure 1 – Key trends in world trade in goods and services

Визначені СОТ тенденції дозволяють виділити пріоритетні напрями розвитку сфери послуг, а саме: розвиток інформаційних та комп'ютерних послуг; створення передумов для зростання експорту

туристичних послуг; підтримка сектору транспортних послуг для збереження попиту в умовах надлишку пропозиції на ринку.

Для реалізації першого напрямку та забезпечення зростання сфери ІТ-послуг необхідно:

- стимулювати підвищення якості підготовки фахівців у закладах вищої освіти та підтримувати компанії, які допомагають студентам набути практичні навички та вміння;
- вдосконалити регулювання ІТ-сектору з боку держави, врахувавши специфіку даної галузі;
- сприяти нарощуванню попиту на місцевому ринку та запобігання масовому аутсорсингу компаній;
- заохочувати вихід українських ІТ-компаній на нові ринки, у першу чергу ринок ЄС, який стає доступнішим внаслідок прискорення євроінтеграційних процесів [6, 7].

Основними напрямками розвитку туристичних послуг в Україні є:

- розробка та реалізація регіональних програм розвитку туризму, ефективне використання туристичного потенціалу окремих регіонів країни;
- комплексний розвиток туристичної та рекреаційної сфер, розбудова, покращення та вдосконалення туристичної інфраструктури;
- диверсифікація туристичних послуг, підвищення їх якості та конкурентоспроможності;
- популяризація туризму в Україні та підвищення рівня обізнаності за кордоном про туристичні об'єкти в країні;
- надання податкових пільг для новостворених малих підприємств туристичного спрямування з метою забезпечення розвитку сільського та екотуризму;
- вдосконалення системи наукового забезпечення та якісної підготовки персоналу, використання сучасних інформаційних технологій для ефективного розвитку туристичної сфери;
- гармонізація законодавства у сфері туризму з європейським та світовим, дотримання міжнародних стандартів якості туристичних послуг, участь в міжнародних програмах розвитку туризму;
- гарантування безпеки споживачів туристичних послуг та захист їхніх прав [8].

Підтримку галузі міжнародних перевезень України пропонується забезпечувати за наступними напрямками:

- 1) формування національної інформаційної системи для користувача з можливістю дистанційного резервування та придбання квитків на міжміські автобусні рейси;
- 2) створення сприятливих умов для розвитку і зміцнення позицій транспортних операторів на міжнародному ринку транспортних послуг;
- 3) стимулювання створення та розвитку асоціацій експедиторів і перевізників;
- 4) укладення двосторонніх міжнародних договорів у сфері автомобільного транспорту;
- 5) створення єдиної інформаційної бази даних про напрями та стан автомобільних доріг, впровадження системи супутникової навігації міжнародних автомобільних перевезень [9].

Крім безпосереднього впливу на конкурентоспроможність національної економіки через збільшення ВВП та експорту, створення нових робочих місць, сфера послуг чинить опосередкований вплив завдяки активному використанню послуг у процесі виробництва. Лібералізація торгівлі послугами обумовлює підвищення конкурентоспроможності інших галузей, в яких вони використовуються як вхідні фактори виробництва [10]. В зв'язку з цим розвиток сфери послуг в цілому також дозволить отримати позитивний ефект та сприятиме підвищенню конкурентоспроможності як окремих галузей, так і економіки України в цілому.

Забезпечення розвитку сфери послуг потребує вирішення наступних завдань:

1. Формування сприятливих умов для підприємницької діяльності у секторі послуг, створення економічного та правового середовища, яке б забезпечувало стимулювання ділової активності населення.
2. Вдосконалення дії механізму місцевого самоврядування, залучення громади до активної участі у визначенні пріоритетних напрямів зростання ринку послуг.

3. Створення реальних можливостей кожному підприємству для початку самостійної підприємницької діяльності у сфері послуг, доступу до виробничих, матеріально-технічних та фінансових ресурсів.

4. Вдосконалення системи кадрового забезпечення розвитку підприємницької діяльності у сфері послуг.

5. Здійснення заходів в галузі інвестиційної політики, направлених на підтримку підприємництва у сфері послуг регіону та сприяння інноваційному інвестуванню підприємств.

6. Підтримка в перспективі на відповідній науковій основі розвитку мережових та кластерних структур безпосередньо сервісного характеру (транспортно-логістичні, туристично-рекреаційні, культурно-розважальні).

7. Формування та реалізація стратегії розвитку сфери послуг відповідно до інноваційно-інвестиційної моделі розвитку економіки.

8. Оновлення і використання нових технологій в галузях традиційних послуг (фінансових, страхових, транспортних, торговельних тощо), а також формування новітніх послуг, в першу чергу знаннєвоємких (інформаційні та комунікаційні послуги, маркетингові послуги, управління людськими ресурсами, послуги державного управління тощо) [11, 12, 13].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Таким чином, сфера послуг чинить прямий та непрямий вплив на формування конкурентоспроможності національної економіки. Прямий вплив проявляється в безпосередньому формуванні сферою послуг частини ВВП та експорту країни. На експорт послуг України припадає близько 25 % сукупного експорту, що свідчить про відносно незначну роль послуг в посиленні позицій країни на світових ринках. Враховуючи світові тенденції до активного розвитку торгівлі послугами, розвитку ІТ-послуг, туристичних послуг, а також зниження попиту на транспортні послуги, запропоновано вектори посилення конкурентоспроможності зовнішньої торгівлі послугами України: активний розвиток інформаційних, комп'ютерних та телекомунікаційних послуг; створення умов для сталого зростання експорту туристичних послуг; підтримка транспортної галузі для збереження обсягів реалізації в умовах надлишкового попиту на світових ринках.

Непрямий вплив здійснюється завдяки використанню іншими галузями економіки послуг в процесі виробництва. Тому розвиток сфери послуг матиме позитивний вплив на підвищення конкурентоспроможності галузей, що взаємодіють з нею, а отже і на національну економіку в цілому. Зростання сфери послуг України потребує формування та реалізація стратегії розвитку сфери послуг, створення сприятливого підприємницького середовища, вдосконалення системи кадрового забезпечення підприємницької діяльності у сфері послуг, вдосконалення інвестиційної політики, активізації використання нових технологій та формування новітніх послуг. Реалізація запропонованих заходів дозволить забезпечити зростання конкурентоспроможності економіки України.

Перелік посилань

1. Платіжний баланс України. URL: https://bank.gov.ua/files/ES/BOP_y.pdf
2. Trade profile of Ukraine. URL: <https://oec.world/en/profile/country/ukr>
3. Зовнішня торгівля України. URL: https://bank.gov.ua/files/ES/Tov_y.pdf
4. Вітренко А.О. Динаміка трансформацій української сфери послуг. European Journal of Economics and Management. 2017. № 3. С. 16–28.
5. Структурні трансформації у світовій економіці: виклики для України: аналітична доповідь / В. Сіденко та ін. Київ: Заповіт, 2017. 182 с.
6. Вікулова А.О., Савчук В.В. Перспективи розвитку ринку ІТ-послуг в Україні. Причорноморські економічні студії. 2020. Вип. 51. С. 27–32.
7. Барвінок В.Ю. Сучасні тренди та проблеми ІТ-сектору в Україні: підготовка та міграція ІТ-фахівців. Механізм регулювання економіки. 2020. № 4. С. 90–102.

8. Герасимів З.М., Христенко Г.М. Особливості розвитку туризму в Україні. Ефективна економіка. 2021. № 5.
9. Дубицький О.С., Бодак В.І., Куць Н.Г., Булік Ю.В. Проблеми та перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг. Центральнотуристський науковий вісник. 2020. Вип. 3 (34). С. 305–312.
10. Мельник Т.М. Зовнішня торгівля послугами у контексті постіндустріального розвитку України. Економіка України. 2018. № 9. С. 26–36.
11. Пугачевська К.Й. Сфера послуг в Україні: особливості розвитку та стратегічні перспективи. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент. 2016. Вип. 18. С. 52–55.
12. Ковтун В.Г. Основні тенденції та етапи розвитку сфери послуг в Україні. Problems and prospects of cooperation between countries of South-Eastern Europe within context of Black sea economic cooperation and GUAM. 2014. С. 139–142.
13. Домбровська С.М. Державна політика формування сервісно-орієнтованої економіки сфери послуг. Інвестиції: практика та досвід. 2019. № 10. С. 105–110.

THE INFLUENCE OF THE SERVICE SECTOR ON THE STRENGTHENING OF THE COMPETITIVENESS OF THE UKRAINIAN ECONOMY IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION PROCESSES

Fedoruk Olesia V., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor, department of Economics, e-mail: olesiavfedoruk@gmail.com, tel.: +380977487357, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-7402-4174>.

Summary. The article examines the impact of the service sector on the competitiveness of the Ukrainian economy. It was found that the influence of the service sector has a direct and indirect nature. It was determined that the direct impact is manifested through the development of international trade in services and the formation of the country's place in the division of labor. The study of Ukraine's foreign trade showed much smaller volumes of export of services compared to export of goods. At the same time, it was found that the share of Ukraine in the world markets of services and goods is approximately the same, which made it possible to conclude that the development of international trade in services is promising for strengthening Ukraine's position on the world stage. Taking into account the trends in the development of world trade in services determined by the WTO, the following vectors for the development of foreign trade in services are proposed: the development of IT services, the growth of tourist services, support for the export of transport services. It was established that the indirect influence is due to the use of services by other sectors of the economy and population. A set of measures to improve the functioning of the service sector is proposed.

According to the results of the analysis of Ukraine's foreign trade and taking into account the data of the World Trade Organization, it can be concluded that the development of international trade in services is a promising direction for strengthening Ukraine's competitiveness. Despite a significant advantage in the volume of trade in goods over trade in services, Ukraine occupies approximately equal shares in the world markets of goods and services. This testifies to the fierce competition in the product markets, which significantly reduces Ukraine's ability to effectively compete in them in the near future without technical improvement of the production industries. At the same time, the obtained data allow us to conclude about a much lower level of competition in the service markets. Therefore, the development of the service sector is seen as a way to strengthen Ukraine's place in the global division of labor.

In addition to the direct impact on the competitiveness of the national economy due to the increase in GDP and exports, the creation of new jobs, the service sector has an indirect impact due to the active use of services in the production process. Liberalization of trade in services causes an increase in the competitiveness of other industries in which they are used as input factors of production. In this regard, the

development of the service sector as a whole will also have a positive effect and will contribute to increasing the competitiveness of both individual industries and the economy of Ukraine as a whole.

Key words: service sector, competitiveness, national economy, globalization processes, international trade, specialization, transport services, tourist services, information services.

References

1. Platizhnyi balans Ukrainy [Balance of payments of Ukraine]. Access mode: https://bank.gov.ua/files/ES/BOP_q.pdf
2. Trade profile of Ukraine. Access mode: <https://oec.world/en/profile/country/ukr>
3. Zovnishnia torhivlia Ukrainy [Foreign trade of Ukraine]. Access mode: https://bank.gov.ua/files/ES/Tov_y.pdf
4. Vitrenko A.O. Dynamika transformatsii ukrainskoi sfery posluh [Dynamics of transformations of the Ukrainian service sector]. European journal of economics and management, 2017, № 3, pp. 16–28.
5. Sidenko V. Strukturni transformatsii u svitovii ekonomitsi: vyklyky dlia Ukrainy [Structural transformations in the world economy: challenges for Ukraine]. Kyiv, Zapovit Publ., 2017, 182 p.
6. Vikulova A.O., Savchuk V.V. Perspektyvy rozvytku rynku IT-posluh v Ukraini [Prospects for the development of the IT services market in Ukraine]. Prychornomorski ekonomichni studii [Black sea economic studies], 2020, issue 51, pp. 27–32.
7. Barvinok V.Iu. Suchasni trendy ta problemy IT-sektoru v Ukraini: pidhotovka ta mihratsiia IT-fakhivtsiv [Modern trends and problems of the IT sector in Ukraine: training and migration of IT specialists]. Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky [Mechanism of economic regulation], 2020, № 4, pp. 90–102.
8. Herasymiv Z.M., Khrystenko H.M. Osoblyvosti rozvytku turyzmu v Ukraini [Features of the development of tourism in Ukraine]. Efektyvna ekonomika [Efficient economy], 2021, № 5.
9. Dubytskyi O.S., Bodak V.I., Kuts N.H., Bulik Yu.V. Problemy ta perspektyvy rozvytku mizhnarodnoho rynku transportnykh posluh [Problems and prospects of the development of the international market of transport services]. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk [Central Ukrainian scientific bulletin], 2020, issue 3 (34), pp. 305–312.
10. Melnyk T.M. Zovnishnia torhivlia posluhamy u konteksti postindustrialnoho rozvytku Ukrainy [Foreign trade in services in the context of post-industrial development of Ukraine]. Ekonomika Ukrainy [Ukraine economy], 2018. № 9, pp. 26–36.
11. Puhachevska K.I. Sfera posluh v Ukraini: osoblyvosti rozvytku ta stratehichni perspektyvy [The sphere of services in Ukraine: peculiarities of development and strategic prospects]. Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Serii: Ekonomika i menedzhment [Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Economics and management.], 2016, issue 18, pp. 52–55.
12. Kovtun V.H. Osnovni tendentsii ta etapy rozvytku sfery posluh v Ukraini [The main trends and stages of development of the service sector in Ukraine]. Problems and prospects of cooperation between countries of South-Eastern Europe within context of Black sea economic cooperation and GUAM, 2014, pp. 139–142.
13. Dombrovska S.M. Derzhavna polityka formuvannia servisno-orientovanoi ekonomiky sfery posluh [State policy of formation of a service-oriented economy of the service sphere]. Investytsii: praktyka ta dosvid [Investments: practice and experience], 2019, № 10, pp. 105–110.

УДК 005.8:65.018:656.073
UDC 005.8:65.018:656.073

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-208-215

ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛІВ СОЦІАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ В ОРГАНІЗАЦІЇ

FORMATION OF PORTFOLIOS OF SOCIAL PROJECTS IN ORGANIZATION



Воркут Тетяна Анатоліївна, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vorkutt@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0354-476X>



Білоног Оксана Євгенівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bilonog.oksana@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2471-5388>



Дегтярьова Ольга Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ond2204agp@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-0115-3434>



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmytrychenkoa@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>



Овчар Денис Олександрович, Національний транспортний університет, Київ, Україна: pitosha29@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>



Срібна Наталія Василівна, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natasribna28@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7543-2997>

Анотація. Актуальність теми зумовлена необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку науково-методичного забезпечення управління соціальними програмами в організації, здійснюваного за безпосередньої участі її працівників, за умовами запровадження в даній сфері портфельно-орієнтованого управління.

Мета дослідження полягає у вдосконаленні і подальшому розвитку науково-методичного забезпечення управління соціальними програмами організації на основі інтерпретації заходів даних програм в якості проєктів як таких, які складають відповідні портфелі (підпортфелі).

Завдання дослідження: 1) провести аналіз підходів до формування і класифікації соціальних програм в організації; 2) адаптувати концепцію формування портфелів проєктів громадської участі до умов формування портфелів проєктів соціальних програм внутрішньої направленості організації, якими передбачається безпосередня участь працівників організації в зазначеному формуванні.

Методика дослідження. При формуванні понятійної бази дослідження використано метод наукової ідентифікації; при проведенні аналізу підходів до формування і класифікації соціальних програм в організації – метод зіставно-порівняльного аналізу; для адаптації концепції формування портфелів проєктів громадської участі до умов формування портфелів проєктів соціальних програм внутрішньої направленості організації, якими передбачається участь працівників організації, – метод аналогій; при побудові моделі портфеля (підпортфеля) проєктів соціальних програм внутрішньої направленості організації – метод цілочисельного програмування.

Ключові слова: управління проєктами, портфель проєктів, управління проєктами соціальних програм організації.

Постановка проблеми. На початок ХХІ ст. багато країн підійшли до становлення і розвитку відкритого цивілізованого суспільства, в якому зароджуються нові форми спілкування, заснованого на партнерстві і здоровій конкуренції, на правових і соціально відповідальних засадах, відбувається вдосконалення культури організацій, у тому числі, бізнесових, у сфері виробництва, побуту, дозвілля. Все більшого значення набувають соціальні програми організацій – як добровільно здійснювана організаціями діяльність щодо надання працівникам, а в ряді випадків населенню місцевих територіальних громад або населенню взагалі, додаткових, тобто, понад тих, які встановлено законодавством, матеріальних пільг, компенсацій, послуг із метою підвищення привабливості цих організацій на ринку праці, посилення лояльності і мотивації працівників, збереження висококваліфікованих працівників, збільшення результату діяльності організацій.

При цьому окремих наголос робиться на необхідності безпосередньої участі самих працівників організацій у ідентифікації і реалізації заходів, які мають ввійти до соціальних програм. Зазначене спрямоване забезпечити, насамперед, відповідність соціальних програм внутрішнім, щодо організації, реальним запитам працівників.

На сьогодні в науковій літературі простежується достатньо глибоке опрацювання питань, пов'язаних із корпоративною соціальною відповідальністю, в тому числі, стосовно відображення останньої в соціальних програмах. Разом із тим, маємо брак наукових робіт, у яких розглядалась би проблематика запровадження результативного і ефективного механізму для ідентифікації, розроблення і реалізації заходів соціальних програм за участі самих працівників. В якості такого механізму міг би виступати проєктний підхід і, як таке, що ґрунтується на даному підході, портфельно-орієнтоване управління в організаціях.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вдосконалення і подальший розвиток науково-методичного забезпечення управління соціальними програмами в організації, здійснюваного за безпосередньої участі її працівників, за умовами запровадження в даній сфері портфельно-орієнтованого управління.

Огляд робіт. Узагальнено, за результатами відомих на сьогодні наукових робіт, соціальні програми можуть бути прокласифіковані на різних засадах, зокрема, щодо: направленості; механізму фінансування; форми; змістових характеристик і цільових адресатів (вигодонабувачів). В свою чергу, за направленістю можуть бути виокремлені внутрішні і зовнішні щодо організації соціальні

програми. Відповідно до домінуючих на тепер уявлень, серед внутрішніх можна виокремити соціальні програми, спрямовані на: розвиток персоналу; охорону здоров'я персоналу; створення сприятливих умов праці; соціально відповідальну реструктуризацію. Серед зовнішніх щодо організації соціальних програм можна виокремити соціальні програми, спрямовані на природоохоронну діяльність і ресурсозбереження; підтримку місцевих територіальних громад; доброчесну бізнесову практику.

Для даної роботи першочерговий інтерес становить проблематика управління внутрішніми соціальними програмами. В науковій літературі дана проблематика розглядається, насамперед, у контексті корпоративної соціальної відповідальності. Теоретико-методичні основи останньої, як відомо, було закладено в роботах П. Друкера [1], Т. Пітерса та Р. Вотермена [2], а також інших дослідників. Акцент на необхідності забезпечення відповідності між стратегією організації і соціальними програмами організації зроблено, зокрема, в роботі [3]. При цьому вказується на відмінність у вирішенні проблеми «розділення» стадій формування (формулювання) і реалізації стратегії в баченні прескриптивних і дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління. Умови забезпечення відповідності проєктів, які реалізуються в організації і розглядаються в складі стратегічно-орієнтованих портфелів, стратегії організації представлені в стандартах управління портфелем, зокрема, в 4-й версії стандарту управління портфелем РМІ [4].

В даній роботі термін «організація» трактується в широкому його значенні – як форма об'єднання людей для спільної діяльності в межах певної структури. Терміни «проєкт» і «портфель», або «портфель проєктів», використовуються в значенні, пропонованому 4-ю версією стандарту управління портфелем РМІ [4]. Зауважимо також, що вживання в даній роботі терміну «програма» в словосполученні «соціальна програма» не є тотожним до значення терміну «програма» в тому розумінні, в якому він використовується в управлінні проєктами, а теж трактується в широкому значенні, яке відображено в даній статті в постановці проблеми.

Визначаючи, що на сьогодні відомо достатньо багато наукових робіт, присвячених соціальним програмам у прийнятому для даної роботи їх визначенні і розглядуваних у межах проблематики корпоративної соціальної відповідальності, маємо вказати, що виявляється наукова прогалина в частині опрацювання результативних і ефективних механізмів для ідентифікації, розроблення і реалізації, за участі працівників організації, заходів, які мають складати ці соціальні програми.

На нашу думку, це пов'язано, насамперед, із наступним. Із одного боку, для організації складно оцінювати прямі вигоди, пов'язані із запровадженням зазначених заходів, що, як наслідок, ускладнює відбір цих заходів до реалізації. З іншого боку, окремого опрацювання потребує питання залучення самих працівників – як вигодонабувачів від заходів внутрішніх за направленістю соціальних програм. Для вирішення даної проблеми може бути використано підходи, напрацьовані в інших сферах, де до ідентифікації, розроблення і реалізації заходів, насамперед, в проєктній формі, передбачається залучення громадськості. Натепер це підходи, які напрацьовано в сфері управління проєктами громадської участі (ГУ) територіальних громад [5, 6, 7].

Мета даної роботи полягає у вдосконаленні і подальшому розвитку науково-методичного забезпечення управління соціальними програмами організації на основі інтерпретації заходів даних програм в якості проєктів як таких, які складають відповідні портфелі (підпортфелі).

Об'єкт дослідження. Процеси формування сукупностей заходів, як проєктів, організаційних соціальних програм і програм громадської участі територіальних громад до реалізації.

Предмет дослідження. Методи і моделі формування портфелів проєктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботах [5, 6, 7], на основі узагальнення світового і національного досвіду формування проєктів ГУ, запропонована концепція формування проєктів ГУ, представлена на рис. 1. Дана концепція, адаптована до умов формування портфелів проєктів соціальних програм внутрішньої направленості організації, якими (умовами) передбачається участь працівників організації.

Використовуючи метод аналогій розглянемо умови застосування даної концепції при формуванні сукупностей заходів, як портфелів проєктів, організаційних соціальних програм внутрішньої направленості.



Рисунок 1 – Концепція формування портфелів проєктів соціальних програм внутрішньої направленості організації, яка передбачає участь працівників організації у даному формуванні

Figure 1 – The concept of forming portfolios of projects of social programs of internal orientation of the organization, which involves the participation of the organization's employees in this formation

Так же як бюджет громадської участі виокремлюється із загального бюджету громади, так і із загального бюджету, який виділяється організацією на заходи соціальної програми внутрішньої направленості, може бути виокремлено бюджет участі працівників (УП). Даний бюджет гіпотетично може бути структурований в різний спосіб. Мається на увазі, перш за все, що за окремими складовими внутрішньої соціальної програми, як, наприклад: розвиток персоналу; охорона здоров'я персоналу; створення сприятливих умов праці; соціально відповідальна реструктуризація, можуть

бути встановлені окремі бюджети. Тоді сукупність заходів, розглядуваних за проекти участі працівників (УП), в рамках кожної із виокремлюваних вище складових можна інтерпретувати в якості портфеля (підпортфеля), що, зокрема, передбачає рейтингування проектів УП у рамках останнього. Коли ж відповідне встановлення окремих бюджетів не передбачено, тоді сукупність заходів, розглядуваних за проекти УП, в рамках кожної із виокремлюваних складових має розглядатися за підрозділ портфеля (підпортфеля), який виокремлюється лише для зручності управління. В цьому випадку рейтингування проектів УП відбувається в межах загального бюджету, який виділяється організацією на соціальну програму внутрішньої направленості.

В якості критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації заходів, соціальних програм внутрішньої направленості, як проектів УП, можуть використовуватися, за аналогією до проектів ГУ, або критерії результативності – в даному випадку кількість голосів на підтримку, отриманих за проектом УП, або критерії ефективності витрат – в даному випадку як відношення кількості голосів на підтримку, отриманих за проектом УП, до запиту за проектом УП на обсяг фінансування.

Так же як і для проектів ГУ, окремий інтерес при формуванні портфеля проектів УП становить питання оптимізації портфеля (підпортфеля). Дане питання представляє інтерес, насамперед, із двох точок зору. По-перше, це можливість щодо врахування умов залежності між окремими проектами УП. Останні в межах портфелів (підпортфелів) або підрозділів можуть бути представлені як незалежні або залежні. А залежні, в свою чергу, як залежні за засадах доповнення чи заміщення. При цьому умови залежності проектів УП, як компонентів портфелів (підпортфелів) чи підрозділів, на вищезазначених засадах можуть бути взяті до уваги через формування нових, інтегрованих компонентів, до складу яких входять залежні проекти УП.

По-друге, це вибір власне умов оптимізації. Насамперед, мається на увазі, що необхідно визначитися із тим, як буде відбуватися оптимізація – виходячи виключно з індивідуальних рейтингів, які набули проекти УП за результатами голосування, чи за портфелем (підпортфелем) загалом.

Як і у випадку формування переліку проектів ГУ до реалізації маємо очевидну дилему. З одного боку – це індивідуальний рейтинг, який отримує проект УП за встановленим критерієм, а з іншого – умови ефективності використання коштів. Тільки тут мова вже йде не про кошти платників податків, а про кошти організації.

Якщо розглядати умови оптимізації проектів УП сумісно за певним портфелем (підпортфелем), то для вирішення задачі оптимізації складу портфеля (підпортфеля) у відповідній постановці може бути використано метод цілочисельного програмування. Цільова функція при цьому будується на основі кількості поданих голосів на підтримку окремих проектів УП і, як очевидно, потребує максимізації. За обмеження слугує бюджет, який виділяється на відповідний портфель (підпортфель) проектів УП.

Відповідно до вищенаведеного, можна записати:

$$\sum_{i=1}^I V_i x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

за дії обмежень:

$$\sum_{i=1}^I C_{ki} x_i \leq C_{kp}, \quad (2)$$

$$x_i = 0, 1, i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

де V_i – кількість голосів, поданих на підтримку i -го проекту УП, $i = \overline{1, I}$;

C_{ki} – капітальні витрати за i -м проектом УП, $i = \overline{1, I}$;

C_{kp} – граничне максимальне значення капітальних витрат, які можуть бути виділені на фінансування проектів УП за портфелем (підпортфелем);

I – загальна кількість проектів УП в портфелі (підпортфелі).

Представлені обмеження за пропонованою моделлю оптимізації портфеля проектів УП, вирази (1) – (3), відповідно до прийнятої практики, не завжди беруть до уваги поточні витрати, з якими буде пов'язана експлуатація даних проектів УП у майбутньому. Водночас, це важливо для проектів УП, які, до речі, можуть і не мати капітальних витрат. Поточні витрати можуть бути враховані в різний спосіб. Зокрема, як сумарна величина протягом встановленого періоду експлуатації проекту УП, наприклад, 5 років, і братись до уваги як обмеження в процесі попереднього відбору. Можливим є також введення цих поточних витрат – як приведених поточних витрат – до обмежень цільової функції (1) у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t_e=1}^{T_e} \frac{C_{pi t_e}}{t_e \prod_{j=1}^{t_e} (1 + k_{ij})} x_i \leq c_{pp}, \quad (4)$$

де $C_{pi t_e}$ – поточні витрати за i -м проектом УП в часовому періоді t_e , $t_e = \overline{1, T_e}$, $i = \overline{1, I}$;

k_{ij} – вартість капіталу за i -м проектом УП в часовому періоді j , $j = \overline{1, t_e}$, $t_e = \overline{1, T_e}$, $i = \overline{1, I}$;

c_{pp} – граничне максимальне значення приведених поточних витрат, яке може мати місце за портфелем (підпортфелем);

T_e – економічний термін життя, який приймається за проектами УП.

Цільова функція може бути доповнена обмеженням щодо поточних витрат у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I C_{pi t_e} x_i \leq C_{ppep}, t_e = \overline{1, T_e}, \quad (5)$$

де C_{ppep} – граничне максимальне значення суми поточних витрат, яке може мати місце за портфелем (підпортфелем) у часовому періоді t_e , $t_e = \overline{1, T_e}$.

Врахування в моделях оптимізації портфеля концепції вартості грошей у часі через введення процедур дисконтування актуалізує питання ступеня ризику – як індивідуального, тобто, щодо окремих проектів УП, які входять до складу портфеля (проектного ризику), так і структурних ризиків – як ризиків, пов'язаних зі способом формування портфеля і ймовірними конфліктами між його компонентами, і глобальних ризиків – як ризиків, які перевищують суму ризиків окремих компонентів [8]. Як правило, ризик окремих проектів враховується в бюджеті цих проектів через збільшення останніх до 20%. Водночас, врахування наявності структурних ризиків і, можливо, частково глобальних ризиків за певною сукупністю проектів дозволить представлення цих сукупностей в якості портфелів (підпортфелів).

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальших розвідок за даним напрямом. Адаптовано, з використанням методу аналогій, отриману вперше в попередніх дослідженнях авторів концепцію формування портфелів проєктів ГУ до умов формування портфелів соціальних програм внутрішньої направленості організації, якими передбачається безпосередня участь працівників організації в зазначеному формуванні.

Представлені результати можуть розглядатися за такі, що надають можливість вдосконалення і подальшого розвитку науково-методичного забезпечення управління соціальними програмами організацій за безпосередньої участі працівників останніх на основі інтерпретації заходів даних програм в якості проєктів, які складають відповідні портфелі (підпортфелі). В подальших розвідках за даним питанням пропонується розглянути підходи до структурування сукупності заходів соціальних програм як портфелів (підпортфелів) проєктів.

Перелік посилань

1. Drucker P.F. The Practice of Management. – New York: Harper Business, 2006, 416 p.
2. Peters T.I., Waterman R.H. In Search of Excellence: Lessons from America's Best-Run Companies. – New York: Harper Collins, 1982, 360 p.
3. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпел Д. Стратегическое сафари. Экскурсия по дебрям стратегического менеджмента / пер. с англ. Д. Раевская, Л. Царук. Москва: «Альпина Паблишер», 2012, 367 с.
4. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.5
5. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Горбенко О.В., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В. Управління проєктами громадської участі – як сфера застосування портфельно-орієнтованого управління // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науковий журнал. Київ: НТУ, 2022. Вип. 52. С. 65–80.
6. Vorkut T. Portfolio management for public participation projects. Innovative integrated computer systems in strategic project management: Collective monograph edited by I. Linde / Vorkut T., Petunin A., Sribna N., Kharuta V., Khrutba Yu European University Press. Riga: ISMA, 2022. – P. 171-200.
- 7 Воркут Т.А., Божок Ю.О., Петунін А.В., Харута В.С., Шпильовий І.Ф. Управління проєктами громадської участі в сфері транспорту і ремонту та будівництва доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науковий журнал. Київ: НТУ, 2022. Вип. 112. С. 232–240.
8. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В., Третиниченко Ю.О. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія. – Київ: Міленіум, 2021. – 227 с.

FORMATION OF PORTFOLIOS OF SOCIAL PROJECTS IN ORGANIZATION

Vorkut Tetyana A., Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vorkutt@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-0354-476X>

Bilonoh Oksana Ye., Ph. D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bilonog.oksana@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2471-5388>

Dehtyarova Olha M., Ph. D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ond2204agp@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0115-3434>

Dmytrychenko Andij B., Ph. D., Associate Professor, Associate Professor of the Department Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmytrychenkoa@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Ovchar Denys O., Ph.D student., National Transport University, Department of transport Law and Logistics, e-mail: pitosha29@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>

Sribna Nataliia V, Applicant for candidate degree studied in postgraduate course, National Transport University, Department of transport Law and Logistics, natasribna28@gmail.com, <http://orsid.org/0000-0002-7543-2997>

Abstract. The topicality of the topic is determined by the need for improvement and further development of scientific and methodological support for the management of social programs in the organization, carried out with the direct participation of its employees, under the conditions of the introduction of portfolio-oriented management in this field.

The purpose of the study is to improve and further develop the scientific and methodological support for the management of social programs of the organization based on the interpretation of the measures of these programs as projects that make up the relevant portfolios (sub-portfolios).

Research tasks: 1) analyze approaches to the formation and classification of social programs in the organization; 2) to adapt the concept of forming portfolios of public participation projects to the conditions of forming portfolios of projects of social programs of internal direction of the organization, which provide for the direct participation of the organization's employees in the specified formation.

Research methodology. The method of scientific identification was used when forming the conceptual basis of the study; when analyzing approaches to the formation and classification of social programs in the organization - the method of comparative analysis; to adapt the concept of forming portfolios of public participation projects to the conditions of forming portfolios of projects of social programs of the organization's internal direction, which involve the participation of the organization's employees - the method of analogies.

Keywords: project management, project portfolio, project management of the organization's social programs.

References

1. Drucker P.F. The Practice of Management. – New York: Harper Business, 2006, 416 p.
2. Peters T.I., Waterman R.H. In Search of Excellence: Lessons from Americas Best-Run Companies. – New York: Harper Colins, 1982, 360 p.
3. Myntsberh H., Alströnd B., Lämpel D. Stratehycheskoe safary. Ėkskursyia po debriam stratehycheskoho menedzhmenta / per. s anhl. D. Raevskaia, L. Tsaruk. Moskva: «Alpyna Pablysher», 2012, 367 s.
4. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.5
5. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ie., Horbenko O.V., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V. Upravlinnia proiektamy hromadskoi uchasti – yak sfera zastosuvannia portfelno-oriietovanoho upravlinnia // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia «Ekonomichni nauky». Naukovyi zhurnal. Kyiv: NTU, 2022. Vyp. 52. S. 65–80.
6. Vorkut T. Portfolio management for public participation projects. Innovative integrated computer systems in strategic project management: Collective monograph edited by I. Linde / Vorkut T., Petunin A., Sribna N., Kharuta V., Khrutba Yu European University Press. Riga: ISMA, 2022. – P. 171-200.
- 7 Vorkut T.A., Bozhok Yu.O., Petunin A.V., Kharuta V.S., Shpylovyi I.F. Upravlinnia proiektamy hromadskoi uchasti v sferi transportu i remontu ta budivnytstva dorih // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Naukovyi zhurnal. Kyiv: NTU, 2022. Vyp. 112. S. 232–240.
8. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ie., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V., Tretynychenko Yu.O. Portfelno-oriietovane upravlinnia v orhanizatsiinykh merezhakh. Monohrafiia. – Kyiv: Milenium, 2021. – 227 s.

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНИХ ПЛАНІВ ЗА РЕСУРСНИМИ КРИТЕРІЯМИ

OPTIMIZATION OF OPERATIONAL PLANS ACCORDING TO RESOURCE CRITERIA



Лихоступ Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, e-mail: lychostup5n5@gmail.com, тел. +380442807909, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206.

<https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>

Анотація. В статті складена система вирішення задач, які є актуальними в процесі складання та оперативного управління процесами реалізації оперативних планів будівельного виробництва. В якості ведучого критерію при цьому рекомендується використання показник максимальної зайнятості у виробництві трудових та технічних ресурсів. В принципі акцент статті поставлено на формування та вирішення двох задач. Перша задача полягає у формуванні документів, які регламентують складання оперативних планів. Особлива увага при цьому приділена розробці циклограм, що визначають часову свободу виконання оперативних планів. В свою чергу створення циклограм базується на принципах сітьового моделювання. Побудова сітьових моделей передбачає використання принципів технологічної маршрутизації трудових і технічних ресурсів в рамках окремих проектів, а кращий варіант сітьової моделі визначається показником максимального використання за часом їх нормативної трудомісткості. Друга задача полягає в реалізації системи оперативного регулювання процесів фактичного виконання завдань виробничих підрозділів в мінливих умовах виробництва. З цією метою використані створені раніше моделі оперативного регулювання виробництва, формування яких базується на простій вихідній інформації. Для практичного використання інформації та документів, що регламентують виконання оперативних планів, розвинуті ідеї експертної оцінки поточних даних про складену виробничу ситуацію та можливих варіантів переміщення ресурсів в рамках відомих резервів.

Ключові слова: оперативні плани, сітьові моделі, матриці технологічних маршрутів, циклограми, методи оперативного регулювання.

Вступ

Ефективність роботи будь – якого підприємства залежить від успішної роботи його підрозділів – спеціалізованих служб, цехів, виробничих дільниць та інших. В свою чергу успішна та ефективна робота виробничих підрозділів залежить від багатьох факторів. Це, перш за все, надання чіткої та зрозумілої перспективи виконання виробничих програм робіт, що визначається в оперативних планах. Насамперед, це в декадно – добових оперативних планах, в яких показники та параметри діяльності виробничих підрозділів формуються в залежності від загальної стратегії організації робіт по виконанню конкретного контракту. Таким чином просліджується залежність формування оперативного плану від якості проектування організації виробництва робіт контракту. Але, з іншого боку, жорсткі умови виконання робіт, що можуть бути визначені в контракті, не дають

змоги для динамічного розгортання діяльності виробничих підрозділів. Тому у вихідних документах, що регламентують організацію виробництва, слід передбачити можливу динаміку впливу на виробництво різноманітних факторів. У крайньому випадку мова йде про облік впливу технологічних факторів, що можливе із використанням методів сітьового моделювання виробництва. Для успішної реалізації таких методів можливе їх реалізація за ресурсними критеріями, що дає змогу оминати недоліки сітьового моделювання за існуючими методами.

Але навіть чітке прописування оперативного плану не дає можливості для його успішної реалізації в умовах впливу на виробництво різноманітних випадкових факторів. Тому слідуюча задача оперативного планування – це оперативне регулювання параметрів складених планів. Така задача може бути вирішена шляхом зміни різноманітних виробничих параметрів, що найбільш можливе та реально доступне – це регулювання ресурсних параметрів у визначений час. Процедури визначення зміни інтенсивності використання ресурсів формують різноманітні способи вирішення такої задачі, реалізації яких дає змогу визначити процедури ліквідації негараздів у поточних змінах виконання оперативних планів.

Виклад основного матеріалу

В системі планування діяльності виробничих систем оперативні плани мають заключне, але особливе призначення. Саме вони орієнтовані на формування поточних завдань виробничих підрозділів, що дає змогу не тільки якісно та вчасно їх виконати, але і здійснити поточний контроль за їх реалізацією. Формування виробничих завдань та оперативне регулювання їх виконання здійснюється в основному на рівні декадно – добового та недільно – добового планування [1, 2]. Вихідною інформацією для формування виробничих завдань в межах цих періодів оперативних планів є інформація про строки виконання контракту в цілому та трудових процесів окремо, а також дані про кількість виконавців, що повинні приймати при цьому участь. Така інформація є результатом проектування організації трудових процесів і надається у вигляді графічних документів та ресурсних відомостей, складання яких регламентується державними та галузевими документами [3,4].

Але проблема полягає в тому, що традиційні документи організації робіт регламентуються чіткими строками та чітко визначеними потребами в ресурсах – трудових та технічних. Тому такі документи гублять свою чинність та практичну потребу внаслідок впливу на виробництво випадкових факторів. Це положення визиває потребу у складанні таких документів з організації виконання трудових процесів, які дали б змогу в більшому часовому просторі оперувати використанням ресурсів з змінних умовах виробництва. Такі документи можуть трактуватись як так звані циклограми виконання робіт

Побудова графічних документів, що регламентують виконання трудових процесів чи окремих виробничих завдань підрозділів, у вигляді циклограм можлива з використанням методів сітьового моделювання [5]. Ідеї побудови сітьових моделей використовують елементи теорії графів, яка є розділом дискретної математики [6]. Вперше теоретичні основи сітьового моделювання та його використання на практиці було здійснено в 1956 в США М.Уоркером та Д.Келлі. Цей метод спочатку був відомий як «метод Уоркера – Келлі». а пізніше став відомий як СРМ – метод (Critical Path Method).

Недоліки СРМ – методу викоренені в процесі розробки методу організаційно – технологічного моделювання (ОТМ – методу) [8]. Формалізація ОТМ – методу була розроблена для реалізації проектів лінійного виробництва – автомобільних доріг, залізниць, трубопроводів та інших. Цей метод дає можливість скласти один варіант сітьової моделі, чітко визначити структуру робіт та час їх виконання в межах всього строку проекту, що дає змогу скласти реальні оперативні завдання для виробничих підрозділів і скласти графічні документи оперативного управління виробництвом у вигляді циклограм.

Таблиця 1 - Матриця технологічних маршрутів ресурсів (MTM).

Table 1 - Matrix of resource technological routes (RTR).

n	-----	-----	-----		Pnm, Pnm,3: Pnm, 7:
...					
3	-----	P23, 2: P23, 4: P23, 5: P23, 7:	P33,1: P33, 5: P33, 4:		-----
2	-----	P22, 1: P22, 4: P22, 7: P22, 9:	P23, 5: P23, 7:		-----
1	P11, 5:P11, 7:	-----	-----		-----
	1	2	3		m

Незважаючи на свою надзвичайну популярність при вирішенні різноманітних задач планування та управління виробництвом [7], СРМ – метод має суттєві недоліки, а саме:

- відсутні основи поняття «роботи» сітьової моделі, як частини трудового процесу;
- час виконання кожної роботи розраховується автономно без урахування загальних часових обмежень проекту;
- в залежності від бачення експертів, які складають сітьову модель, для одного проекту може бути складено її багато варіантів, що ускладнює процедури вибору кращого рішення.

В розвиток ОТМ – методу рекомендується так званий МТМ – метод, суть якого полягає як на основі сітьового моделювання, так і на використанні принципів технологічної взаємозалежності між трудовими процесами. Базою цього методу є складання так званих матриць технологічних маршрутів ресурсів, приклад якої наведено в табл.1. Матриця технологічних маршрутів ресурсів проекту формується слідуючим чином: в першому вертикальному стовпчику в порядку зростання номерів проставляється кількість трудових процесів, що виділені в проекті, тобто $i = 1, 2, \dots, n$, де i – це номер виділеного трудового процесу. В нижній горизонтальній стрічці матриці проставлені номери виділених за певною ознакою місця характерних сполучень суміжних трудових процесів – $j = 1, 2, \dots, m$. Місця характерних сполучень суміжних трудових процесів визначаються за двома варіантами. Перший – це із використанням принципів ОТМ – моделювання, а другий – це за принципами побудови технологічного графа (варіанта сітьової моделі), коли може бути зафіксована технологічна послідовність виконання трудових процесів. Наприклад, відношення між клітинами 1 – 1 та клітинами 2 – 2 і 3 – 2 слідуюче: Після завершення частини трудового процесу в обсягах клітини 1 – 1 можуть бути розпочаті роботи по виконанню частини другого трудового процесу в обсягах клітини 2 – 2, а також частини третього трудового процесу в межах виділених обсягів 3 – 2. Відповідно до

обсягів робіт виділених частин трудового процесу кожної клітини в ній проставлені розрахункові дані нормативних витрат ресурсів, які визначаються в залежності від обсягів робіт, що формують відповідну клітину. Клітинки МТМ - матриці заповнені інформацією про нормативну трудомісткість виконання частини трудового процесу в межах зафіксованих сполучень між трудовими процесами – $P_{ij,r}$, де r – це номер ресурсу. Трудові ресурси вимірюються в одиницях трудомісткості – люд. X год., а технічні ресурси – в маш. X год.

Алгоритм використання МТМ - матриці для визначення раціональних параметрів виконання трудових процесів – часу виконання окремих виробничих завдань та кількості виконавців – включає;

Етап 1. Перегляд технологічного маршруту кожного ресурсу: від клітини $l - l$ до клітини $n - m$ з метою виявлення такого ресурсу, який зустрічається на кожному проміжку $l - m$. Наприклад, це ресурс r . Якщо таких ресурсів кілька, то вибирається будь – який із них, але, як правило, найбільш вагомий, який називається ведучим ресурсом

Етап 2. Визначається сумарна потреба у вибраному ресурсі – SP_r на технологічному маршруті, тобто:

$$SP_r = \sum \sum P_{ij,r} \text{ наприклад: } SP_7 = P_{11,7} + (P_{22,7} + P_{23,7}) + P_{11,7} + \dots + P_{nm,7}. \quad (1)$$

Етап 3: Розраховується час виконання кожної виділеної частини трудового процесу (дійсної роботи сіткової моделі) – T_{ij} за відношенням:

$$T_{ij} = (P_{ij,r} / SP_r) \times T_k, \quad (2)$$

де T_k - загальний час виконання контракту (проекту).

Етап 4. Розрахунок кількості виконавців (кількості робочої сили – N_{ij} та механізмів $M_{ij,s}$, де s – це тип засобів механізації) для виконання кожної виділеної частини трудового процесу із використанням так званої основної формули [8] та відповідних коефіцієнтів використання кожного ресурсу за часом [8] – $K_{вч,r}$.

Етап 5. Розраховується сумарний зважений коефіцієнт використання ресурсів за часом всього проекту:

$$K_{вч.сер} = (\sum \sum (K_{вч.ij,r} \times N_{ij,r} (M_{ij,sr}) \times C_{ij,r} \times T_{ij}) / (\sum \sum (N_{ij,r} (M_{ij,sr}) \times C_{ij,r} \times T_{ij})), \quad (3)$$

де $C_{ij,r}$ - вартість експлуатації ресурсу r - го типу, а це годинна тарифна плата робітників або механізаторів чи вартість експлуатації однієї машино – години.

Подальші можливості використання отриманої інформації на основі МТМ - моделей можливі за кількома напрямками:

По – перше, це формування алгоритму кращого варіанту оперативного виконання завдань, що визначені в спеціальних зонах (табл.. 1) . Є два шляхи вирішення цієї задачі, але перший полягає в тому, що на першому етапі вище визначеного алгоритму змінюється тип виробничого ресурсу – r . Тобто в якості так званого ведучого ресурсу може бути прийнятий інший ресурс, який вкладається у всю технологічну гілку між клітинами $l - l$ та $n - m$. Визначення кращого варіанту виконання контракту в межах обмежених строків виконання трудових процесів при умові зміни розрахункового ресурсу може бути трактовано слідує таким чином: Завдається будь - який ресурс, використання якого слідує всьому проекту (від клітини $l - l$ до клітини $n - m$), а потім для кожного варіанту завдання типу ресурсу на послідовних етапах алгоритму розраховується $K_{вч.сер}$ для кожного із них. Звичайно, вибирається той варіант ресурсного насичення проекту, який відповідає максимальному знесенню $K_{вч.сер}$.

По – друге, після визначення кращого варіанту ресурсного забезпечення проекту можлива побудова сіткової моделі. У цьому випадку слід звернути увагу на те, що принципово ліквідуються основні недоліки побудови сіткової моделі за методом Уоркера - Келлі (СРМ – методу), так як мова

йде про формування тільки одного варіанту сітьової моделі, а потім – час виконання дійсних робіт, що залежить від трудомісткості використання ресурсів на окремих ділянках - T_{ij} , розраховується за простою формулою (2). Час реалізації робіт типу організаційно – технологічних перерв у цьому випадку рекомендується не розраховувати за відносно складними відношеннями [8], а прийняти у відповідності до вимог так званого низового оперативного управління. Тобто час реалізації робіт типу організаційно – технологічна перерва приймається як 5 змін. Розрахунок часових параметрів сітьових моделей дозволяє побудувати графічні документи організації виконання робіт в межах контракту у вигляді циклограм. Побудовані циклограми, як графічні документи, надають можливість оперативного регулювати хід розвитку трудових процесів в межах розрахованих часових резервів.

По – третє, результати визначення кращого варіанту організації виконання трудових процесів та побудовані циклограм надають можливість скласти об'єктивні оперативні завдання виробничим підрозділам, які не тільки формують конкретні для кожного виробничого підрозділу виробничі завдання в межах оперативного недільно – добового планування, але також визначають основи подальшого оперативного контролю та регулювання ситуацій що до виконання виробничих процесів.

В – четверте, накопичена на попередніх етапах інформація про виконання часу виконання оперативних завдань виробничими підрозділами дає змогу оцінити кращий варіант організації виконання контракту за критерієм організаційно – технологічної надійності [9].

Але навіть ретельно складені таким чином оперативні плани не дають можливості гарантувати їх визначене розрахункове виконання, так як внаслідок впливу на виробництво випадкових факторів реальні процеси розвитку виробництва можуть відрізнятись від попередньо складених. В принципі, процеси розвитку виробничих процесів повинні відповідати обмеженням часових резервних зон складених циклограм. Коли спостерігається відхилення фактичного розвитку виробничих процесів від розрахункового – відставання або випередження - , то виникає слідуюча задача оперативного управління виробництвом – його регулювання.

Така задача може бути вирішена шляхом зміни в межах певного часу параметрів організації виробництва. Але змінити технологію виконання робіт (технологічні параметри), обсяги виробництва (об'ємні параметри) чи час виконання робіт (часові параметри) не можливо, то залишається тільки одна можливість оперативного регулювання виробництва за рахунок зміни інтенсивності використання ресурсів (ресурсних параметрів). Раніше виконані науково – дослідні роботи [8]кі були орієнтовані на вирішення задач оперативного регулювання виробництва шляхом зміни інтенсивності використання ресурсів, що відтворено різними методами – аналітичним, графічним та оптимізаційним. Оригінальність цих методів полягає в тому, що їх використання базується на простій вихідній інформації: часу відхилення фактичного виконання трудового процесу від розрахункового, складу виробничого підрозділу – розрахункового та фактичного, а також обсягів виробництва на момент регулювання оперативного плану. Вирішення задачі оперативного регулювання фактичного ходу виконання трудових процесів має однакову мету – в який, однаковий для всіх виробничих процесів, проміжок часу слід змінити інтенсивність використання ресурсів, тобто зняти деяких з виробництва, деякі, навпаки, залучити до виконання робіт і в якій кількості. Також паралельно вирішується і задача визначення обсягів виробничих завдань, що були першочергово визначені в оперативних планах.

Звичайно, всі створені методи оперативного регулювання фактичного виконання трудових процесів за ресурсними критеріями базуються на спеціально розроблених для цієї мети математичних моделях. Але в реальних умовах виробництва скласти нашвидкуруч системи лінійних рівнянь або формувати цільові функції та обмеження задачі є не простою задачею. Тому практичне використання інформації про нестабільність фактичного виробництва з метою його покращання може бути рекомендоване на основі експертних підходів. Знання про інтенсивність використання окремих ресурсів у складі виробничих підрозділів, що визначається коефіцієнтами використання нормативного часу ресурсів та інформація про часткові резерви окремих робіт дає можливість спеціалісту з планування та організації виробництва вирішити задачу оперативного перерозподілу ресурсів в межах найближчого часу.

Висновки

Наведені в статті підходи оперативного управління процесами виконання оперативних планів уявляють систему вирішення взаємопов'язаних задач. Вирішення кожної задачі базується на створенні відносно складних математичних моделях, а практична реалізація розрахунків за цими моделями вимагає складання відповідного програмного забезпечення. Незважаючи на таку складність вирішення задач управління системою формування та регулювання процесів виконання оперативних планів, це поки – що один із реальних шляхів вирішення цієї проблеми.

Перелік посилань

1. Таукач Г.Л. Наукові основи організації праці в будівництві.-К.: Вища школа, 1972. – 256 с.
- 2.Лихоступ М.М., Чернявский А.Д., Флейтух Р.Е. Оперативное управление в дорожно-строительных организациях. К.: Будівельник, – 1988. – 128 с.
3. ДБН А .3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва // Мінрегіон України. – К, 2016. – 49 с.
4. Інструкція про порядок складання, погодження і затвердження проектів організації будівництва і проектів виконання робіт в дорожній галузі (до ДБН А.3.1-5-96 "Організація будівельного виробництва") (ІН А.3.1-218-312:2008). УДВТП „Укрдортех-нологія”. – Київ, 2008. – 50 с. (Архів Укравтодору в ДерждорНДІ)
5. Ніколаєва К.Э, Кобійчук В.В. Дискретний аналіз. Графи та їх використання в економіці. Навчально – методичний посібник. Суми: УАБС НБУ, 2007.- 84 с.
6. Капітонова Ю. В., Кривий С. Л., Летичевський О. А., Луцький Г. М. Основи дискретної математики. — К.: Наукова думка, 2002. — 580 с.
7. Васильков В. Г. Організація виробництва: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 524 с.
- 8.Ліпський Г.Є., Лихоступ М.М., Основи організації, планування та управління дорожнім виробництвом //Підручник Міносвіти України//, ч.1 – ч.2.,„ГРАНМНА”. – Київ, 2010. – 400 с.
9. Лихоступ М.М. Використання критерію організаційно-технологічної надійності при вирішенні задач оперативного управління виробництвом. Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 55. – Київ, 1998. – С.82 – 92.

CONCEPTION OF STRATEGIC PLANNING OF TRAVELLING ECONOMY

Lykhostup Mykola M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University. Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>

Abstract. The article contains a system for solving problems that are relevant in the process of drawing up and operational management of the processes of implementation of operational plans for construction production. As a leading criterion, it is recommended to use indicators of maximum employment in the production of labor and technical resources. In principle, the emphasis of the article is on the formation and solution of two problems. The first task is to create documents that regulate the preparation of operational plans. At the same time, special attention is paid to the development of cyclograms, which determine the time freedom for the implementation of operational plans. In turn, the creation of cyclograms is based on the principles of network modeling, the construction of network models involves the use of the principles of technological routing of labor and technical resources within the framework of individual projects, and the best version of the network model is determined by the indicator of maximum use by time of their normative labor intensity. The second task is to implement a system of operational regulation of the processes of actual performance of the tasks of production units in changing conditions of production. For this purpose, previously created models of operational regulation of production were used, the formation of which is based on simple initial information. For the practical use of information and documents regulating the implementation of operational plans, the ideas of expert assessment of current data on the complex

production situation and possible options for moving resources within the framework of known reserves have been developed.

Keywords: operational plans, network models, matrices of technological routes, cyclograms, methods of operational regulation.

References

1. Taukach G.L. Naukovi osnovy organizaziy prazi v budivnyztvi. – K: Vyscha shkola, 1972.- 256 s.
2. Lychostup M. M., Chernjavskiy A.D., Fleytuch P.E. Operativnoe upravlenie v dorozhno-stroitelnykh organizacijach/ K.: Budivelnik, - 1988. – 128 s. .
3. DBN A 3.1-5:2016. Organizazija budivelnogo vyrobnyztva. // Minregion Ukrainy. – K., 2016. – 49 s.
4. Instrukzija pro porjadok skladannja, pogodzhennja I zatverdzhennja proektiv organizaziy budivnyztva I proektiv vykonannja robot v dorozhny galuzi (do DBN A 3.1 – 5:96 “Organizazija budivelnogo vyrobnyztva”) (IN A.3.1 – 218 –312:2008). “Ukrdortekhnologija”.-K.: - 2008/ - 50 s/ (Archiv Ukravtodoru v DerzhdorNDI).
5. Nikolaeva K.E., Kobychuk V.V. Duskretnyi analiz. Grafy ta ych vykorystannja v ekonomizi. Navchalno – metodychnyi posibnyk. Sumy: UABS NBU, 2007. -84 s.
6. Kapitonova Ju.V., Kryvyp S.L., Letychevskiy O.A., Luzkyi G.M. Osnovy duskretnoi matematyky/ K.: Naukova dumka, 2002. – 580 s.
7. Vasylykov V.G. Organizazija vyrobnyztva. Navch. posibnyk. – K.: KNEU, 2003/ – 524 s.
8. Lipskyi G.E., Lychostup M.M. Osnovy organizazii, planuvannja na upravlinnja dorozhnim vyrobnyztvom // Pidruchnyk Minosvity Ukrainy//, ch.1 – ch. 2.Grammna – Kyiv, 2010. –400 s..
- 9.Lychostup M.M. Vykorystannja kryteriju organizaziyno – technologicanoi nadiynosti pry vyrishenni zadach operativnogo upravlinnja vyrobnyztvom. Zb.:Avtomobilni dorogy i doroschne budivnyztvo.Vyp. 55. – Kyiv, 1998. – S.82 – 92.

УДК 336.763.4
UDC 336.763.4

DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-223-236

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ ФІНАНСОВИХ ДЕРИВАТИВІВ

PROBLEMS AND PROSPECTS OF FINANCIAL DERIVATIVES MARKET DEVELOPMENT



Горобінська Ірина Владиславівна, кандидат економічних наук, доцент, старший викладач кафедри фінансів, обліку і аудиту, Національний транспортний університет, e-mail: irynavladuslavivna@gmail.com, +380677822674, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424.

<https://orcid.org/0000-0001-9670-7198>



Малашенко Юлія Ігорівна, студентка факультету заочного, дистанційного навчання та підготовки іноземних громадян спеціальності «Фінанси, банківська справа та страхування», Національний транспортний університет, e-mail: yulik202222@gmail.com, +380634831877, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424.

<https://orcid.org/0009-0000-0709-6250>



Теслюк Наталія Петрівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, Національний транспортний університет, e-mail: natalitesluk@gmail.com, +380679205826, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424.

<https://orcid.org/0000-0002-0338-9088>

Анотація. Статтю присвячено дослідженню проблем та перспектив розвитку ринку фінансових деривативів.

Актуальність обраної теми пояснюється тим, що глобалізація економічного простору сприяє перетворенню фондового ринку в основне джерело розміщення капіталів, але сучасні умови функціонування ринку деривативів в Україні не відповідають потребам розвитку національної економіки, що вимагає посилення регулювання їх діяльності з метою забезпечення хеджування ризиків учасників ринку.

Об'єкт дослідження – фінансові деривативи як джерело залучення додаткових інвестицій та глобалізації фінансових потоків.

Мета дослідження – вивчення особливостей, переваг та недоліків похідних фінансових інструментів, оцінювання можливостей їх використання у різних цінових ситуаціях з метою підвищення ефективності функціонування ринку деривативів в Україні.

Методи дослідження – метод системного аналізу, метод аналізу та синтезу, метод статистичного аналізу та метод порівняння.

В ході дослідження проаналізовано динаміку торгівлі деривативами на глобальному біржовому ринку та оцінено динаміку світової біржової торгівлі фінансовими деривативами, здійснено аналіз обороту позабіржових похідних фінансових інструментів в країнах ЄС. Також досліджено динамічні зміни виплачених за умовами контрактів сум за похідними цінними паперами в світі в розрізі термінів дії, регіонів та секторів; динаміку торгівлі опціонами та ф'ючерсами на глобальному біржовому ринку. На фінансовому ринку України здійснено аналіз обсягів торгівлі деривативами, оцінено обсяг торгів на біржовому та позабіржовому ринках, наведена динаміка обсягів біржових контрактів та частки торгів фінансовими інструментами на ринку цінних паперів.

Виявлено чинники, що стримують розвиток ринку похідних цінних паперів в Україні, а саме: недоліки законодавства, рівень розвитку інфраструктури ринку похідних цінних паперів, а також поточний стан розвитку ринків базових активів. На підставі аналізу ринку похідних фінансових інструментів розроблено перспективи його розвитку.

Висновки – основними заходами щодо перспективного розвитку ринку фінансових деривативів в Україні мають стати: комплексне врегулювання питань функціонування ринку деривативів, забезпечення діяльності регульованих ринків і розбудова їх інфраструктури, запровадження відповідних інструментів захисту учасників та хеджування ризиків. На основі врахування міжнародного досвіду використання деривативів в Україні необхідно створити ефективний розвинений фінансовий ринок, і такий його сегмент, як ринок деривативів, щоб стати гідним конкурентом на світовому фінансовому ринку.

Ключові слова: похідні фінансові інструменти, опціони, ф'ючерси, ринок фінансових деривативів, глобальний біржовий ринок, світовий фінансовий ринок, хеджування ризиків.

Постановка проблеми. За останні десять років оборот торгівлі деривативами на біржах світу збільшилися майже у 80 разів. Глобалізація економічного простору сприяє перетворенню фондового ринку в основне джерело розміщення капіталів, що, в цілому, сприяє акумуляції основних інвестицій, а також трансферту товарних і фінансових потоків у глобальному масштабі, що сигналізує про перспективність ринку у майбутньому. В той же час однією з ключових проблем на ринку деривативів є недостатність регулювання, оскільки для більш точної оцінки наслідків інвестування в різні похідні цінні папери і оцінки ризиків, пов'язаних зі зростанням обсягу спекулятивних операцій з цими інструментами; разом з посиленням регулювання національних ринків деривативів необхідна система глобального регулювання.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проблемні питання розвитку ринку фінансових деривативів є темою досліджень значного кола зарубіжних та вітчизняних науковців: Л. Роберт, Р. Глен Габбард, І. Гісан, К.С. Калинець, М.В. Козоріз, Р.М. Безус, С.В. Захарін, В.П. Ходаківська, О.Д. Данілов та ін.

У багатьох наукових працях зарубіжних вчених відображається ознака похідності. Науковцем А.Б. Фельдманом визначено «похідність» деривативів через вартість і ціну товарів, що лежать в їх основі, що дозволяє реалізувати право, матеріалізоване в цих інструментах, з виконанням у майбутньому.

Постановка завдання. Завдяки прийнятим змінам на законодавчому рівні, поняття і економічне призначення терміну «дериватив» та «ринку деривативних фінансових інструментів» стало більш прозорим і зрозумілим для учасників біржової торгівлі. У цьому контексті виникає необхідність наповнення українського інформаційного простору методичними та практичними матеріалами, які нададуть можливість вивчити особливості усіх видів деривативів, а також з'ясувати

переваги та недоліки їх використання у різних цінових ситуаціях, як на ринку реальних активів, так і на біржовому ринку.

Аналізуючи стан та динаміку функціонування ринку деривативів можна констатувати, що він не відповідає потребам розвитку національної економіки, не виконує своєї головної функції – хеджування ризиків учасників ринку. Підвищення ефективності функціонування ринку деривативів в Україні дасть змогу запровадити міцну основу для довгострокового зростання економіки України та забезпечення стабільності її фінансової системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. У більшості тлумачних словників термін «дериватив» (від англ. Derivative) розглядається як: «похідний інструмент, вартість якого похідна від фактично пропонованої ціни будь-якого активу, що лежить в його основі (товару, цінних паперів, валюти) [1].

При дослідженні вітчизняних поглядів на трактування терміну «дериватив» робимо акцент на існуючі законодавчо встановлені положення у даному відношенні. Визначення деривативу зустрічається у Податковому кодексі України [2], в якому «дериватив – це стандартний документ, що засвідчує право та/або зобов'язання придбати або продати цінні папери, матеріальні або нематеріальні активи, а також кошти на визначених ним умовах у майбутньому. Стандартна (типова) форма деривативів та порядок їх випуску та обігу встановлюються законодавством».

Аналогічне визначення наводиться в інших нормативно-правових актах - постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження положення про вимоги до стандартної (типової) форми деривативів», Правила випуску та обігу фондових деривативів, Закон України «Про державну підтримку сільського господарства України». Подібність трактування деривативу у всіх вищенаведених законодавчих актах пояснюється їх посиланням на первинне джерело – Закон України «Про оподаткування прибутку підприємств», який втратив чинність з прийняттям Податкового кодексу в 2010 р.

Також згідно нового Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення залучення інвестицій та запровадження нових фінансових інструментів» в Р.2, Ст.8 [3] було введено поняття деривативні цінні папери - цінні папери, що посвідчують право власника у визначених проспектом (рішенням про емісію цінних паперів) випадках та порядку вимагати від емітента придбання або продажу базового активу та/або реалізації встановлених проспектом (рішенням про емісію цінних паперів) прав щодо базового активу, та/або здійснення платежу (платежів) залежно від значення базового показника. До деривативних цінних паперів належать:

- а) опціонні сертифікати;
- б) фондові варанти;
- в) кредитні ноти;
- г) депозитарні розписки;
- г) державні деривативи.

Визначено, що ринок деривативних фінансових інструментів - це сукупність учасників ринку деривативних фінансових інструментів та правовідносин між ними, що виникають під час емісії деривативних цінних паперів, укладення деривативних контрактів, вчинення та виконання правочинів щодо деривативних цінних паперів, укладення та виконання договорів про заміну сторони деривативних контрактів, виконання зобов'язань за деривативними фінансовими інструментами.

Аналіз статистичних даних глобального біржового ринку за даними світової Асоціації ф'ючерсної індустрії (FIA) (рис. 1) свідчить, що у 2021 р. була зафіксована рекордна активність учасників на провідних світових біржових майданчиках.

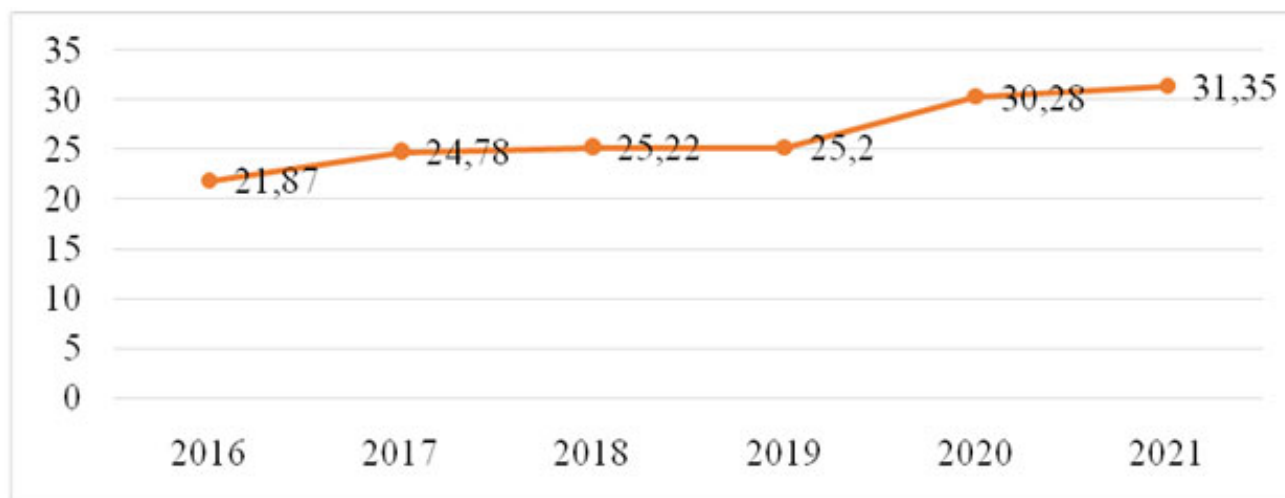


Рисунок 1 – Динаміка торгівлі деривативами на глобальному біржовому ринку в 2016-2021 рр., млрд. угод

Figure 1 – Dynamics of derivatives trading on the global stock market in 2016-2021, billion transactions

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

Кількість укладених угод на біржах зросла на 20,2% і сягнула нового в історії максимуму – 30,28 млрд. угод. Така ситуація тільки ще раз підкреслює важливість деривативів та їх глобальне застосування.

Обсяги торгівлі ф'ючерсними контрактами у 2020 р. зросли на 15,6% до рівня 17,15 млрд. угод. Водночас торгівля опціонами на глобальному біржовому ринку за минулий рік мала більш відчутне зростання на рівні 26,8%, або 13,13 млрд. угод (табл. 1).

В той час як на ринку деривативів перше місце за обсягом укладених контрактів стабільно займає долар США, друге та третє місця відповідно займають євро та фунт стерлінга. При цьому протягом останніх років частка угод в доларах та фунтах стерлінга зростала, в євро – зменшувалась.

Таким чином, за 2020 – початок 2021 рр. найбільше було виплачених сум за умова контрактів за терміном від 1 до 5 років (5015 млрд. дол. в 1 кв. 2021 року), в не фінансовому секторі (2181 млрд. дол.), за кордон, а саме в Європейські розвинені країни (3322 млрд. дол. в 1 кв. 2021 року).

Необхідно зазначити, що глобалізація підвищила роль біржової торгівлі у стабілізації фінансових ринків. Конкурентоспроможність біржових майданчиків на глобальному рівні сприяє консолідації бірж, постійному удосконаленню їхнього технологічного рівня та наявності широкого спектру інструментів, здатних задовольнити потреби найвибагливіших спекулянтів і хеджерів. Порівняльна структура світової біржової торгівлі товарними і фінансовими деривативами свідчить про значне домінування фінансових інструментів упродовж останніх десяти років (рис. 2.).

У 2020 р. та 2021 р. частка фінансових деривативів на фондові індекси становила 30% та 33%, відбулося зростання на 3%. Біржова торгівля цінними паперами, в основному акціями та облігаціями, залишилася незмінною упродовж останніх двох років – 19%.

**ПІДПРИЄМНИЦТВО, ТОРГІВЛЯ ТА БІРЖОВА ДІЯЛЬНІСТЬ /
PIDPRYUMNSTVO, TRADE AND BIRZHOVA ACTIVITY**

Таблиця 1 – Динаміка виплачених за умовами контрактів сум за похідними цінними паперами в світі в розрізі термінів дії, регіонів та секторів в 2019-2021 рр.

Table 1 – The dynamics of the sums paid out under the terms of the contracts for derivative securities in the world by term, region and sectors in 2019-2021

	Виплачені за умовами контрактів суми, млрд. дол.			
	2 кв. 2019 р.	1 кв. 2020 р.	2 кв. 2020 р.	1 кв. 2021 р.
Звітність дилерів	2321	1999	1809	1571
Інші фінансові установи	6817	6110	6062	5933
Центральні контрагенти	5136	4519	4445	4217
Банки	487	406	400	409
Страхові фірми	124	125	127	111
Хедж-фонди	375	381	383	371
Інші фінансові клієнти	618	624	658	778
<i>За терміном</i>				
До 1 року	1882	1404	1474	1781
Від 1 до 5 років	6629	6076	5824	5015
Понад 5 років	763	775	760	762
<i>За секторами</i>				
Державний	1530	1458	1368	1265
Фінансовий	1544	1433	1481	1603
Не фінансовий	2406	2104	2010	2181
Сек'юритизовані продукти	371	382	300	278
Декілька секторів	3456	2916	2934	2270
<i>За місцезнаходженням контрагента</i>				
В середині країни	2222	2063	2128	1869
За кордоном	7051	6192	5930	5690
Сполучені Штати	2187	1737	1539	1552
Європейські розвинені країни	4131	3701	3678	3322
Японія	79	75	72	69
Інші азіатські країни	75	78	78	70
Латинська Америка	313	327	314	374
Усі інші країни	267	273	249	303
Інші похідні фінансові інструменти	137	164	199	253

Зміна торгівлі деривативами на відсоткові ставки відбулась у бік зниження на 1% і становила у 2021 р. 15%, тоді як частка торгівлі фінансовими деривативами на валютні курси зросла на 1% до рівня 13%. У групі товарних деривативів частка енергоресурсів скоротилася за рік на 4% і становила лише 5%. Частка товарних деривативів на аграрну продукцію залишилася на однаковому рівні – 5%. Крім того, відбулося скорочення і частки торгівлі кольоровими металами з 7% до 5%.

Серед європейських країн світу найбільше позабіржових фінансових інструментів було реалізовано в Великобританії, частка якої на світового ринку становила понад 43%. На другому місці за обсягами йшла Швейцарія (3%), а на третьому – Франція (близько 2%).

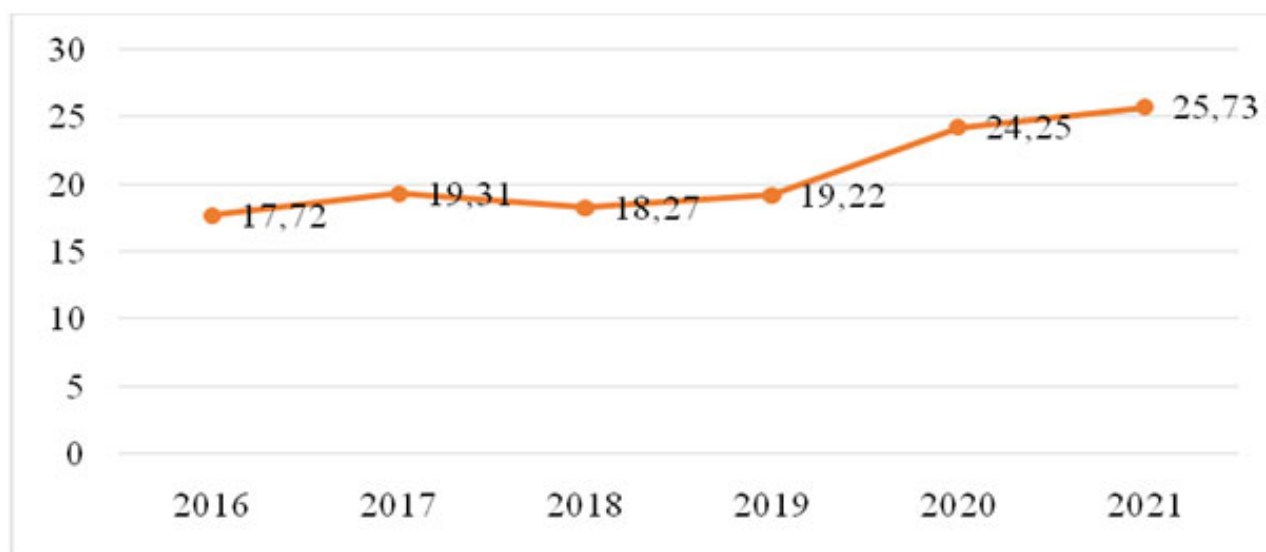


Рисунок 2 – Динаміка світової біржової торгівлі деривативами в 2017-2021 рр., млрд. угод

Figure 2 – Dynamics of global exchange trading of derivatives in 2017-2021, billion transactions

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

Динаміка позабіржових похідних фінансових інструментів в країнах ЄС наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Оборот позабіржових похідних фінансових інструментів в країнах ЄС в 2010-2021 рр., млрд. дол.

Table 2 – Turnover of over-the-counter derivative financial instruments in EU countries in 2010-2021, billion dollars

Країна	Роки				Темп приросту, %		
	2010	2013	2016	2021	2013/2010	2016/2013	2021/2016
Австрія	20	15	19	16	-25,00	26,67	-15,79
Бельгія	33	22	23	36	-33,33	4,55	56,52
Болгарія	1	2	2	2	100,00	0,00	0,00
Чеська Республіка	5	5	4	7	0,00	-20,00	75,00
Данія	120	117	101	63	-2,50	-13,68	-37,62
Фінляндія	31	15	14	7	-51,61	-6,67	-50,00
Франція	152	190	181	167	25,00	-4,74	-7,73
Німеччина	109	111	116	124	1,83	4,50	6,90
Греція	5	3	1	1	-40,00	-66,67	0,00
Угорщина	4	4	3	4	0,00	-25,00	33,33
Ірландія	15	11	2	7	-26,67	-81,82	250,00
Італія	29	24	18	17	-17,24	-25,00	-5,56
Латвія	2	2	1	0	0,00	-50,00	-100,00
Литва	1	1	0	0	0,00	0,00	0,00

Продовження таблиці 2.

Країна	Роки				Темп приросту, %		
	2010	2013	2016	2021	2013/2010	2016/2013	2021/2016
Люксембург	33	51	37	58	54,55	-27,45	56,76
Нідерланди	18	112	85	64	522,22	-24,11	-24,71
Норвегія	22	21	40	30	-4,55	90,48	-25,00
Польща	8	8	9	9	0,00	12,50	0,00
Португалія	4	4	2	2	0,00	-50,00	0,00
Румунія	3	3	3	2	0,00	0,00	-33,33
Росія	42	61	45	47	45,24	-26,23	4,44
Словаччина	0	1	2	1	0,00	0,00	-50,00
Словенія	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Іспанія	29	43	33	41	48,28	-23,26	24,24
Швеція	45	44	42	37	-2,22	-4,55	-11,90
Швейцарія	249	216	156	276	-13,25	-27,78	76,92
Об'єднане Королівство	1854	2726	2406	3576	47,03	-11,74	48,63
Всього	5045	6686	6514	8301	32,53	-2,57	27,43

Найбільшу питому вагу серед деривативів займають контракти на процентні ставки (76% у 1 кв. 2021 р.). Значний попит на цей вид деривативів пояснюється тим, що в умовах ринкової економіки процентні ставки кредитів та інвестиційних проектів постійно змінюються. Компанії не мають можливості швидко протистояти змінам, а отже, кредитні ресурси стають їм недоступні. Відтак саме похідні контракти на процентні ставки дають змогу розподілити інтереси учасників із високою та низькою кредитоспроможністю.

Валютні контракти посідають друге місце серед операцій з деривативами (12%). В структурі валютних контрактів та контрактів на процентні ставки існує ряд відмінностей. Форвардні контракти є популярним інструментом в процесі торгівлі валютними деривативами. Частка свопів у структурі контрактів на процентні ставки є максимальною та становить більш як 70%. Отже, процентні ставки своп є більш популярними, аніж форвардні процентні ставки. Це обумовлено тим, що відповідно до процентного своп-контракту компанія з нижчим кредитним рейтингом може залучати кредитні ресурси на умовах фіксованої валютної ставки, а це значно знижує кредитний ризик, який би виникав під час звичайного банківського кредитування.

Протягом 2016-2021 рр. кількість угод з опціонів на світовому ринку мала чітку динаміку до зростання (рис.3).

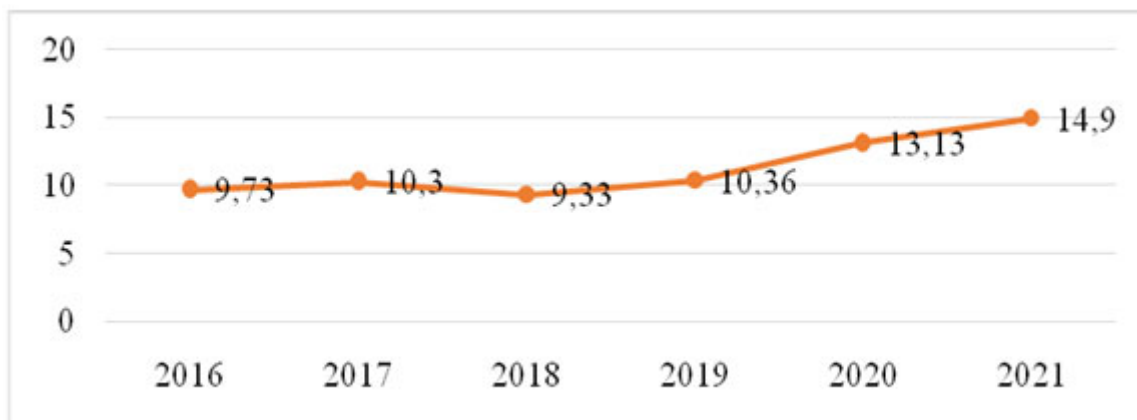


Рисунок 3 – Динаміка торгівлі опціонами на глобальному біржовому ринку в 2016-2021 рр., млрд. угод

Figure 3 – Dynamics of options trading on the global stock market in 2016-2021, billion deals

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

Обсяг світової торгівлі ф'ючерсами в 2018 році збільшився на 19,27% до рівня в 14,48 млрд. угод. В 2019 році обсяг торгівлі мав аналогічну тенденцію до зростання до рівня в 15,98 млрд. угод, або на 10,35%, проте, в 2020 році обсяг торгівлі ф'ючерсами мав динаміку до скорочення на 6,7% до рівня в 14,84 млрд. угод. В 2021 році обсяг контрактів збільшився на 15,57% до рівня в 17,15 млрд. угод (рис. 4).

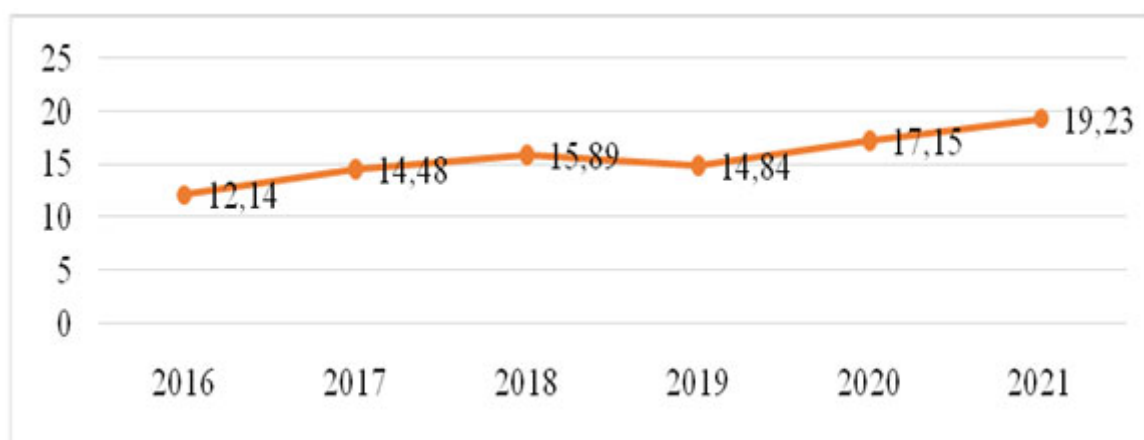


Рисунок 4 – Динаміка торгівлі ф'ючерсами на глобальному біржовому ринку в 2016-2021 рр., млрд. угод

Figure 4 – Dynamics of futures trading on the global stock market in 2016-2021, billion transactions

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

На світовому біржовому ринку деривативів оборот опціонних угод становить 61,497 трлн дол. США. Причому на ринку опціонів лідерами завжди залишаються Північна Америка і Європа - на них припадає основна частка всіх торгів.

Щодо позабіржового ринку, на підставі середньодобового обороту на ринку валютних і процентних деривативів зберігається 9-ка країн, активно використовують цей інструмент. Зокрема Великобританія проводить величезну кількість торгів щодня - близько 37% від загального обороту припадає на її частку.

Протягом 2017-2021 рр. на ринку цінних паперів України спостерігається скорочення обсягів торгівлі деривативами із рівня в 6516,48 млн. грн. в 2017 році, до 2641,1 млн. грн. в 2020 році (-47,38%), та до 209,54 млн. грн. в 2021 році (-92,07%) (рис. 5).

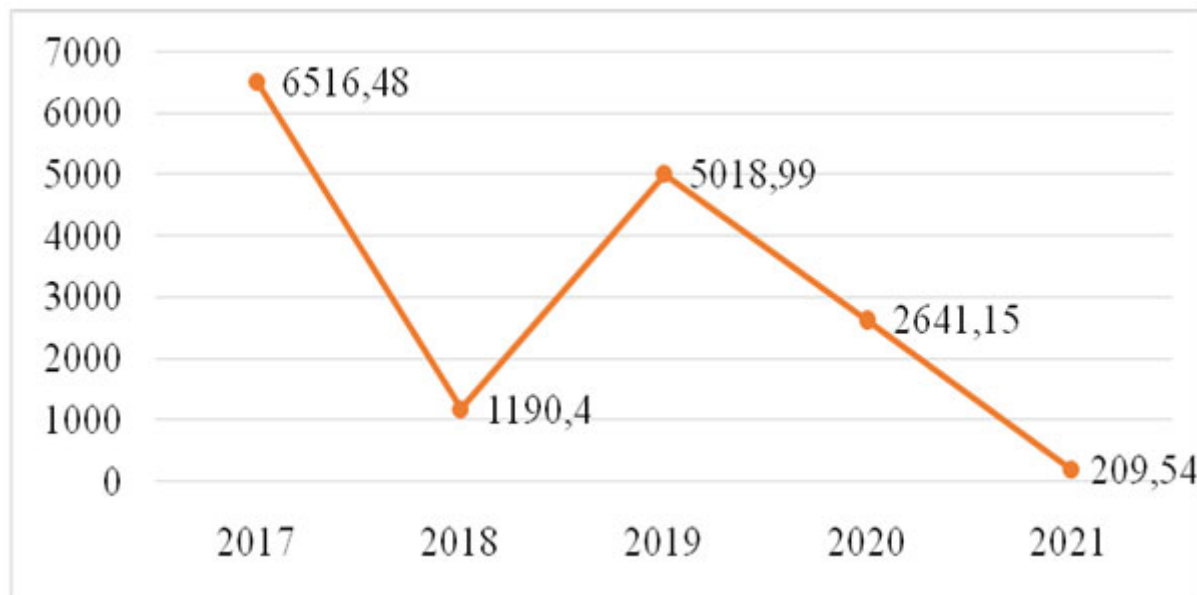


Рисунок 5 – Динаміка обсягів торгівлі деривативами в Україні в 2017-2021 рр., млн. грн.

Figure 5 – Dynamics of derivatives trade volumes in Ukraine in 2017-2021, million UAH.

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

Згідно табл. 3 в Україні обсяг деривативів становить в структурі торгів цінними паперами 0,07% (за даними 2021 року).

Таблиця 3 – Обсяг торгів деривативами на біржовому та позабіржовому ринках у 2016 – 2021 роках, млрд. грн.

Table 3 – The volume of derivatives trading on the exchange and over-the-counter markets in 2016-2021, UAH billion

Вид ринку	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Позабіржовий ринок	0,01	0,04	0,12	0,59	0,06	0,02
Біржовий ринок	9,59	5,83	2,28	5,03	2,65	0,21
Усього	9,60	5,87	2,40	5,62	2,71	0,23

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

В цілому найбільша частка торгів деривативами на ринку цінних паперів була зафіксована в 2019 році, коли сягнула понад 2,44%, а найменша – в 2021 році – 0,07% (табл. 3 та табл. 4).

Обсяг торгів деривативами на біржовому ринку у 2020 році становив 2,65 млрд. грн. Якщо розглядати в розрізі за видами ринків, то всі операції здійснювалися в секції строкового ринку.

**ПІДПРИЄМНИЦТВО, ТОРГІВЛЯ ТА БІРЖОВА ДІЯЛЬНІСТЬ /
PIDPRYUMNSTVO, TRADE AND BIRZHOVA ACTIVITY**

На біржовому ринку в 2020 році попитом користувалися валютні ф'ючерсні контракти (1,59 млрд. грн) та товарні ф'ючерси (223,7 млн. грн).

Таблиця 4 – Динаміка обсягів біржових контрактів та частки торгів фінансовими інструментами на ринку цінних паперів в Україні в 2017-2021 рр.

Table 4 – Dynamics of volumes of exchange contracts and shares of financial instruments trading on the securities market in Ukraine in 2017-2021

Рік, млн. грн.	Акції	Облігації підприємств	Державні облігації України	Облігації іноземної держави	Інвестиційні сертифікати	Деривативи, млн. грн.	Усього
2017	5810,88	13604,11	253319,74	0	2170,15	6516,48	290771,0
2018	2179,96	9433,74	211257,15	0	395,3	1190,40	236953,3
2019	5051,5	6120,09	189555	0	51,83	5018,99	205802,5
2020	1215,9	10267	246474,7	0	272,01	2641,15	260870,8
2021	337,8	8761,87	295249,5	44,16	331,81	209,54	304965,7
Темп приросту, %							
2018	-62,48	-30,66	-16,60	0,00	-81,78	-81,73	-18,51
2019	131,72	-35,13	-10,27	0,00	-86,89	321,62	-13,15
2020	-75,93	67,76	30,03	0,00	424,81	-47,38	26,76
2021	-72,22	-14,66	19,79	0,00	21,98	-92,07	16,90
Частка на ринку, %							
2017	2,00	4,68	87,12	0,00	0,75	2,24	100,00
2018	0,92	3,98	89,16	0,00	0,17	0,50	100,00
2019	2,45	2,97	92,11	0,00	0,03	2,44	100,00
2020	0,47	3,94	94,48	0,00	0,10	1,01	100,00
2021	0,11	2,87	96,81	0,01	0,11	0,07	100,00

Найбільший обсяг біржових контрактів з деривативами уклали торговці цінними паперами ТОВ «Капітал таймс» (1,47 млрд. грн.) та ТОВ «Драгон капітал» (0,9 млрд. грн.). На неорганізованому ринку було виконано контрактів на суму 52 млн. грн. з опціонними сертифікатами емітента ТОВ «Белфорт компанії» (рис. 6).



Рисунок 6 – Динаміка частки обсягу торгів деривативами на біржовому та позабіржовому ринку у загальному обсязі торгів деривативами у 2016 – 2021 рр.

Figure 6 – Dynamics of the share of the volume of derivatives trading on the exchange and over-the-counter market in the total volume of derivatives trading in 2016-2021.

Джерело: складено на основі [4,5,6,7,8,9]

Таким чином, вітчизняний ринок похідних цінних паперів перебуває на стадії становлення. Він широко інтегрований з іншими фінансовими ринками, оскільки в основі деривативів – активи, які виступають предметом торгівлі на цих ринках, або індекси, що характеризують ці ринки. Деривативи дозволяють страхувати курсові, відсоткові і цінові ризики, які виникають у суб'єктів реальних ринків, а також швидко акумулювати прибуток за рахунок приросту їхньої ринкової вартості.

На підставі аналізу ринку похідних фінансових інструментів можна виявити наступні тенденції та перспективи розвитку (рис.7).

Серед чинників, що стримують розвиток ринку похідних цінних паперів в Україні, як і раніше, провідне місце належить чинникам загальносистемного характеру, а саме: недоліки законодавства, рівень розвитку інфраструктури ринку похідних цінних паперів, а також поточний стан розвитку ринків базових активів. До внутрішніх чинників належать: ризикованість діяльності на ринку похідних цінних паперів. До основних ризиків, притаманних діяльності на ринку похідних цінних паперів належать: валютний, процентний, кредитний та операційні ризики.

Висновки. На сучасному етапі діють закони і підзаконні нормативні акти, що регулюють лише окремі боки цього ринку, що характеризуються непослідовністю і неузгодженістю. Певні кроки для створення цивілізованого ринку деривативів в Україні вже здійснюються. За підтримки міжнародних експертів з USAID, ЄБРР та МВФ і народних депутатів комітету Верховної Ради з питань фінансової політики та банківської діяльності були підготовлені і прийняті певні доповнення до Законів, у яких закладені міжнародний досвід використання деривативів. Ключова мета документів – комплексне врегулювання питань функціонування ринку деривативів, а також врегулювання діяльності регульованих ринків і розбудова їх інфраструктури, запровадження інструментів захисту учасників цих ринків. Таким чином, можна зробити висновок, що в країні необхідно створити ефективний розвинений фінансовий ринок, і такий його сегмент, як ринок деривативів, щоб стати гідним конкурентом на світовому фінансовому ринку.

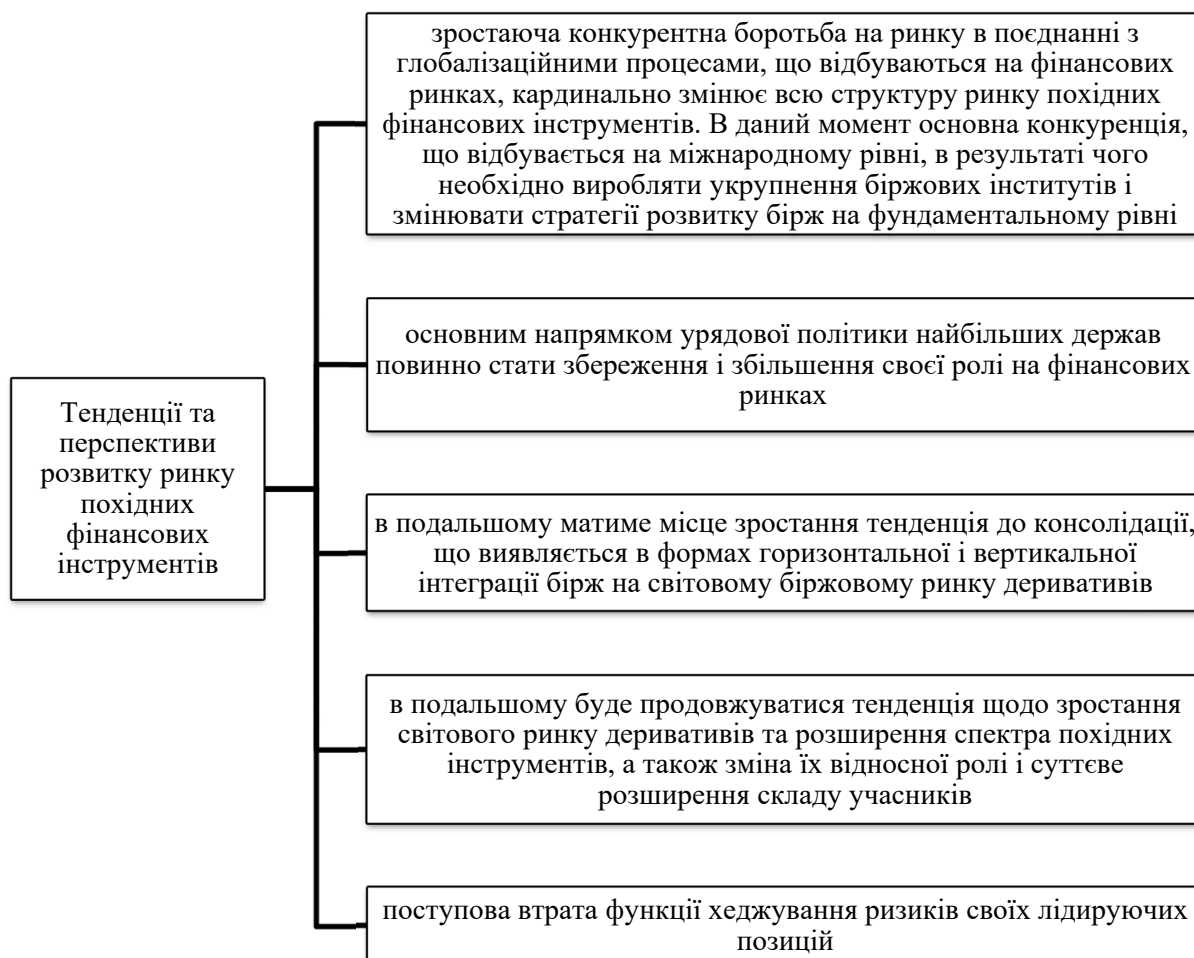


Рисунок 7 – Тенденції та перспективи розвитку ринку похідних фінансових інструментів

Figure 7 – Trends and prospects for the development of the derivative financial instruments market
Джерело: [10]

Перелік посилань

1. Коваленко В.В. Ринок цінних паперів в умовах структурних дисбалансів розвитку фінансового ринку України / В. В. Коваленко // Приазовський економічний вісник. – Випуск 1(12) 2019. – с. 172-178.
2. Закон України «Про державне регулювання ринку цінних паперів в Україні». – Режим доступу: www.zakon.rada.gov.ua.
3. Закон України «Про ринки капіталу та організовані товарні ринки». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/738-20#Text>
4. Динаміка індексів фондового ринку України // Finance.Ua. – Режим доступу: <http://charts.finance.ua/ua/stock/indices/~1/pfts>.
5. Офіційний сайт Міністерства фінансів України. Режим доступу: <https://www.minfin.gov.ua/>
6. Офіційний сайт МВФ // Режим доступу: <http://www.imf.org/external/index.htm>
7. Офіційний сайт Світового Банку // Режим доступу: <http://web.worldbank.org>

8. Шишков С.Є. Структурно функціональні деформації фондового ринку в Україні: макро і мікрівимір. Економіка і прогнозування. 2019. № 2. С. 22-66.
9. Офіційний сайт Національного Банку України // Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>
10. Офіційний сайт рахункової палати України // Режим доступу: http://www.acrada.gov.ua/control/main/uk/publish/article/39647?cat_id=38964
11. Стратегія розвитку фінансового сектору України до 2025 року URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Strategy2025.pdf?v=4
12. Сохацька О.М. Ф'ючерсні ринки: глобальні тенденції та становлення в Україні: Автореф. дис. на здоб. наук. ступ. д.е.н. Тернопіль: Тернопільська академія народного господарства, 2016. – 38с.
13. Третьякова О. В., Харабара В. М., Грешко Р. І. Фондовий ринок України: особливості функціонування в сучасних умовах. Економіка та держава. 2020. - № 5. - С. 103–107.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF FINANCIAL DERIVATIVES MARKET DEVELOPMENT

Gorobinska Iryna V., National Transport University, Ph.D. Economics, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Finance, Accounting and Audit, e-mail: irynavladuslavivna@gmail.com, tel. +380677822674, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenka, 1, room 424, orcid.org/0000-0001-9670-7198.

Malashenko Yulia I., National Transport University, Student of the Faculty of Correspondence, Distance Learning and Training of Foreign Citizens, majoring in "Finance, Banking and Insurance", e-mail: yulik202222@gmail.com, +380634831877, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424, orcid.org/0009-0000-0709-6250

Tesliuk Nataliia P., National Transport University, Ph.D. Economics, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, e-mail: natalitesluk@gmail.com, +380679205826, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 424, orcid.org/0000-0002-0338-9088.

Abstract. The article is devoted to the study of problems and prospects for the development of the financial derivatives market.

The relevance of the chosen topic is explained by the fact that the globalization of the economic space contributes to the transformation of the stock market into the main source of capital allocation, but the current conditions of the derivatives market in Ukraine do not meet the needs of the development of the national economy, which requires strengthening the regulation of their activities in order to ensure the hedging of the risks of market participants.

The object of research is financial derivatives as a source of attracting additional investments and globalization of financial flows.

The purpose of the research is to study the features, advantages and disadvantages of derivative financial instruments, to evaluate the possibilities of their use in different price situations in order to increase the efficiency of the derivatives market in Ukraine.

Research methods – method of system analysis, method of analysis and synthesis, method of statistical analysis and method of comparison.

In the course of the study, the dynamics of derivatives trading on the global stock market were analyzed and the dynamics of global exchange trading of financial derivatives were assessed, and the turnover of OTC derivative financial instruments in the EU countries was analyzed. Dynamic changes in the sums paid under the terms of the contracts for derivative securities in the world in terms of terms of validity, regions and sectors were also investigated; dynamics of options and futures trading on the global stock market. In the financial market of Ukraine, an analysis of the volumes of derivatives trade was carried out, the volume of trades on the exchange and over-the-counter markets was estimated, the dynamics of the volumes of exchange contracts and the share of trades in financial instruments on the securities market were given.

Factors restraining the development of the derivative securities market in Ukraine have been identified, namely: deficiencies in legislation, the level of development of the infrastructure of the derivative securities market, as well as the current state of development of the underlying asset markets. Based on the analysis of the derivative financial instruments market, prospects for its development have been developed.

Conclusions – the main measures regarding the future development of the financial derivatives market in Ukraine should be: comprehensive regulation of the functioning of the derivatives market, ensuring the operation of regulated markets and developing their infrastructure, introducing appropriate tools for the protection of participants and risk hedging. On the basis of taking into account the international experience of the use of derivatives in Ukraine, it is necessary to create an effective developed financial market, and such a segment of it as the derivatives market, in order to become a worthy competitor on the global financial market.

Key words: derivative financial instruments, options, futures, financial derivatives market, global stock market, world financial market, risk hedging.

References

1. Kovalenko V.V. Rynok tsinnykh paperiv v umovakh strukturnykh dysbalansiv rozvytku finansovoho rynku Ukrainy / V. V. Kovalenko // Pryazovskyi ekonomichniy visnyk. - Vypusk 1(12) 2019. – s. 172-178.
2. Zakon Ukrainy «Pro derzhavne rehuliuвання rynku tsinnykh paperiv v Ukraini». – Rezhym dostupu: www.zakon.rada.gov.ua.
3. Zakon Ukrainy «Pro rynky kapitalu ta orhanizovani tovarni rynky». – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/738-20#Text>
4. Dynamika indeksiv fondovoho rynku Ukrainy // Finance.Ua. – Rezhym dostupu: <http://charts.finance.ua/ua/stock/indices/~1/pfts>.
5. Ofitsiyniy sait Ministerstva finansiv Ukrainy. Rezhym dostupu: <https://www.minfin.gov.ua/>
6. Ofitsiyniy sait MVB // Rezhym dostupu: <http://www.imf.org/external/index.htm>
7. Ofitsiyniy sait Svitovoho Banku // Rezhym dostupu: <http://web.worldbank.org>
8. Shyshkov S.Ie. Strukturno funktsionalni deformatsii fondovoho rynku v Ukraini: makro i mikrovymir. Ekonomika i prohnozuvannya. 2019. № 2. S. 22—66
9. Ofitsiyniy sait Natsionalnogo Banku Ukrainy // Rezhym dostupu: <http://www.bank.gov.ua>
10. Ofitsiyniy sait rakhunkovoi palaty Ukrainy // Rezhym dostupu: http://www.acrada.gov.ua/control/main/uk/publish/article/39647?cat_id=38964
11. Stratehiia rozvytku finansovoho sektoru Ukrainy do 2025 roku URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Strategy2025.pdf?v=4
12. Sokhatska O.M. Fiuchersni rynky: hlobalni tendentsii ta stanovlennia v Ukraini: Avtoref. dys. na zdob. nauk. stup. d.e.n. – Ternopil: Ternopilska akademiia narodnoho hospodarstva, 2016. – 38 s.
13. Tretiakova O. V., Kharabara V. M., Hreshko R. I. Fondoviy rynek Ukrainy: osoblyvosti funktsionuvannya v suchasnykh umovakh. Ekonomika ta derzhava. 2020. - № 5. - S. 103–107.