

**ВПЛИВ КОЛИВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРАХ НА  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

**TEMPERATURE OSCILLATIONS INFLUENCE IN ASPHALT CONCRETE LAYERS ON  
STRESS-DEFORMED CONDITION OF ROAD PAVEMENT**



**Баран Сергій Анатолійович**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, старший викладач, e-mail: [baran\\_sergh@ukr.net](mailto:baran_sergh@ukr.net), тел. +380978806451

<https://orcid.org/0000-0002-3591-9880>



**Білобрицька Олена Іванівна**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, доцент e-mail: [o.bilobrytska@ntu.edu.ua](mailto:o.bilobrytska@ntu.edu.ua), +380973602263

<https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>



**Гринчак Ілона Іллівна**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, асистент, e-mail: [ilonaborovuk@ukr.net](mailto:ilonaborovuk@ukr.net), +380969786226

<https://orcid.org/0000-0002-8382-3824>



**Куцман Олександр Михайлович**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, старший викладач, e-mail: [kutsmans@ukr.net](mailto:kutsmans@ukr.net), тел. +380672960871,

<https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>



**Шевчук Людмила Володимирівна**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, асистент e-mail: [ludmilashevchuk25@gmail.com](mailto:ludmilashevchuk25@gmail.com), +380667153633

<https://orcid.org/0000-0002-5748-9527>.

**Анотація.** Довговічність асфальтобетонного покриття залежить напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу, значний вплив на який чинять коливання температури.

Виконано розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану типових конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям для автомобільних доріг при різних температурних режимах

їх роботи. Встановлено, що істотну роль при прогнозуванні міцності та довговічності асфальтобетонного покриття відіграють температури, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких температурах під час весняного перезволоження ґрунтів, а також при інших температурних режимах. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується і модуль пружності асфальтобетону, що призводить до зменшення величини горизонтальних нормальних розтягуючих напружень асфальтобетонних шарів при їх згині при дії транспорту, однак одночасно більш суттєво зменшується міцність асфальтобетону на розтяг, що призводить до зменшення його довговічності.

**Ключові слова.** Асфальтобетонні шари, коливання температури, напружено-деформований стан, міцність і довговічність.

Для підтвердження доцільності розрахунків асфальтобетонного покриття при різних поєднаннях температур шарів, що викликають несприятливі зміни властивостей асфальтобетону в шарах дорожнього одягу, було проведено розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану типових конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям для автомобільних доріг (табл. 1). Характерною особливістю цих конструкцій є наявність двошарового асфальтобетонного покриття, основи, шари якого мають матеріали: асфальтобетон, ЦПС з цементом, ЦПС без в'язучого, і додаткового шару основи з піску на ґрунті з суглинку легкого пилюватого. Конструкції відрізняються між собою використанням в асфальтобетонних шарах різних видів асфальтобетону.

На підставі результатів досліджень температурного режиму при добових і річних коливаннях, за методикою описаної вище, стосовно до кліматичних умов, характерних для другої дорожньо-кліматичної зони, були отримані графіки добових змін температури асфальтобетонних шарів на різних глибинах від поверхні покриття (0 см; 5 см; 12 см; 20 см) в різні сезони року (рисунки 1 - 4).

Ці графіки представлені таким чином, що початок координат відповідає максимуму температури поверхні покриття в тіні. Представлені результати свідчать про зменшення амплітуди коливань температури по глибині, що пояснюється теплоізоляційним ефектом. Це також призводить до запізнення максимуму температури: на глибині 5 см - на 2 години; на глибині 12 см - на 5 годин; на глибині 20 см - на 8 годин.

Таким чином, отримані результати свідчать, що амплітуда цих коливань зменшується з глибиною через теплоізоляційні властивості матеріалу, що призводить до прояву ефекту теплової інерційності і створює «запізнююче» зміщення фаз коливань температури.

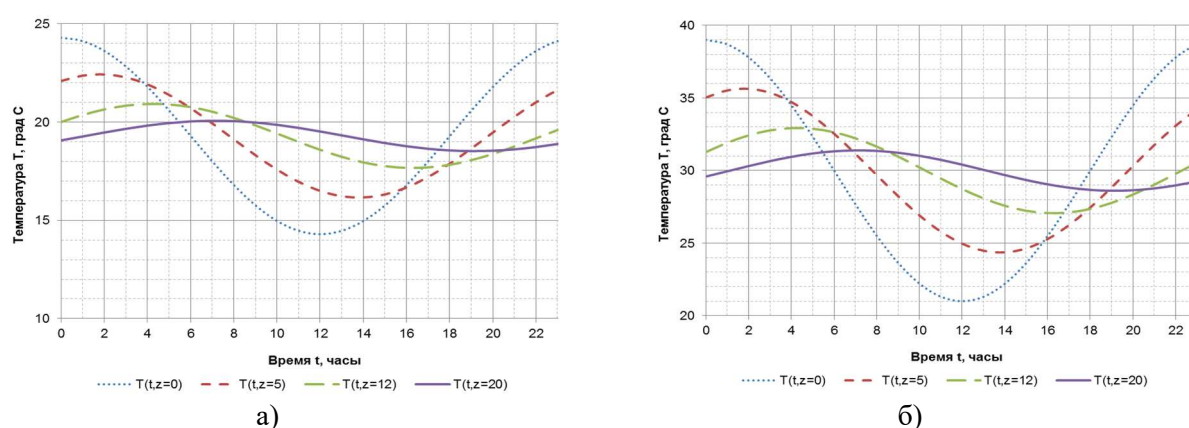


Рисунок 1 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в літній період: а) - при нормальних температурах; б) - при підвищених температурах  
 Figure 1 – Change in temperature in the layers of road pavement in the summer: a) - at normal temperatures; b) - at elevated temperatures

Таблиця 1 – Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, прийняті для розрахунку напружено-деформованого стану

Table 2 – Designs of road clothes with an asphalt concrete covering accepted for calculation of a stress-strain condition

Шифр	Конструктивні шари дорожнього одягу і їх товщина
1	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=5 см; 2. Асфальтобетон щільний крупнозернистий тип Б, (максимальна крупність мінеральних зерен 40 мм) на бітумі марки БНД 60/90, h=8 см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
2	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-15 h=5см; 2. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=8см; 3. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
3	1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-20 h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий тип А (максимальна крупність мінеральних зерен 20 мм), на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.
4	1. Асфальтобетон щільний, дрібнозернистий на бітумі БНД 60/90 модифікованому полімером, h=5см; 2. Асфальтобетон щільний, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 3. Асфальтобетон пористий, крупнозернистий на бітумі БНД 60/90, h=8см; 4. Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом М 60, h=15см; 5. Щебенево-піщана суміш С-5 по ДСТУ В.2.7-30, h=18см; 6. Пісок, h=20см.

Аналізуючи результати, наведені на рисунках 1 - 4, можна побачити, що кожен шар протягом декількох годин температура асфальтобетонних шарів на різних глибинах близька між собою з точністю  $\pm 5$  °С. Крім того, теплова інерційність в добовому режимі коливань температури призводить до того, що максимальні температури завжди вище в верхніх шарах. При цьому через 12 годин ситуація змінюється - максимальні температури вище в нижніх шарах.

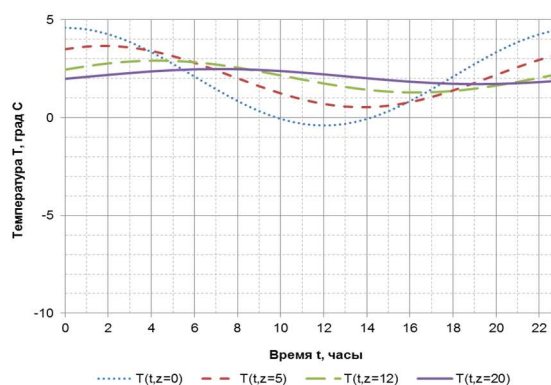


Рисунок 2 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в осінній період  
Figure 2 – Change in temperature in the layers of road pavement in the autumn

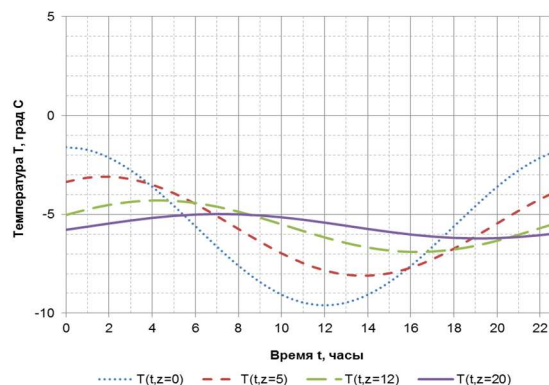


Рисунок 3 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу в зимовий період  
Figure 3 – Change in temperature in the layers of road pavement in the winter

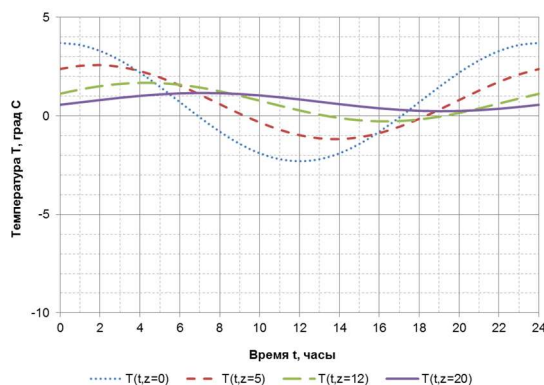


Рисунок 4 – Зміна температури в шарах дорожнього одягу у весняний період  
Figure 4 – Change in temperature in the layers of road pavement in the spring

Виходячи з проведеного аналізу характеру зміни температури асфальтобетонних шарів, є очевидним, що різне поєднання температур може виявитися розрахунковим не тільки при низьких весняних температурах (як прийнято в (ВБН), але і при інших темперних умовах. Для підтвердження даного положення було виконано розрахунок напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. На прикладі конструкції 1<sup>1</sup>, на рисунках 5 - 6 представлені графічні залежності зміни нормальних вертикальних і горизонтальних напружень по глибині при різних температурах асфальтобетонних шарів для конструкцій дорожніх одягів.

Зміна по глибині нормальних вертикальних напружень свідчить про істотну розподільчу здатність, для аналізованих конструкцій, асфальтобетонних шарів. Ці напруження під асфальтобетонними шарами зменшуються в 2-3 рази. Однак з підвищенням температури від 0 °С до 40 °С їх розподільча здатність дещо зменшується (приблизно в 1,5 рази).

Отримані результати свідчать, що підвищення температури призводить до значного зменшення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в нижній частині асфальтобетонного покриття. А для конструкції 2 вони переходять в стискаючі, тобто, при згині конструкції покриття знаходиться в стислій зоні. При цьому для різних конструкцій закономірності зміни розтягуючих напружень зі зміною температури є різні. Однак ці дані також говорять про те, що є небезпека роботи асфальтобетонного покриття в зоні розтягу при позитивних температурах, коли значно зменшується міцність асфальтобетону при розтягу і стійкість до повторних навантажень.

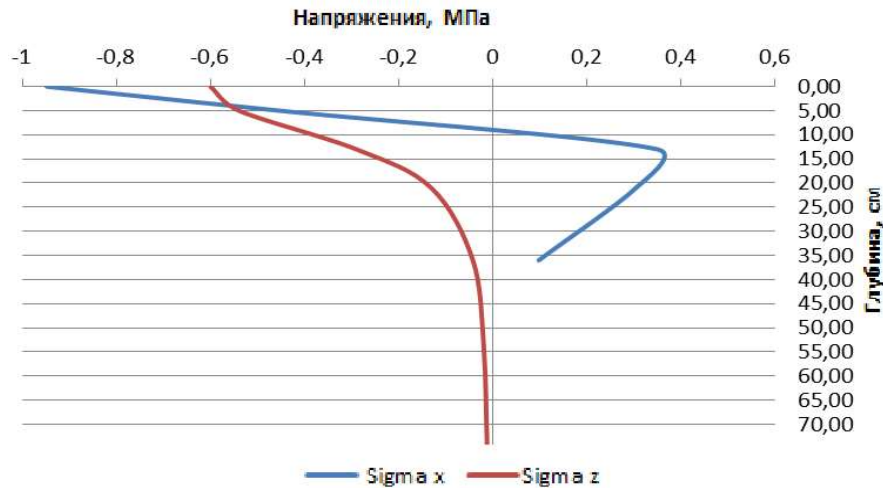


Рисунок 5 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу при 0 °С (конструкція 1)

Figure 5 – Change of normal horizontal and vertical stresses in the road of pavement at 0 °C (construction 1)

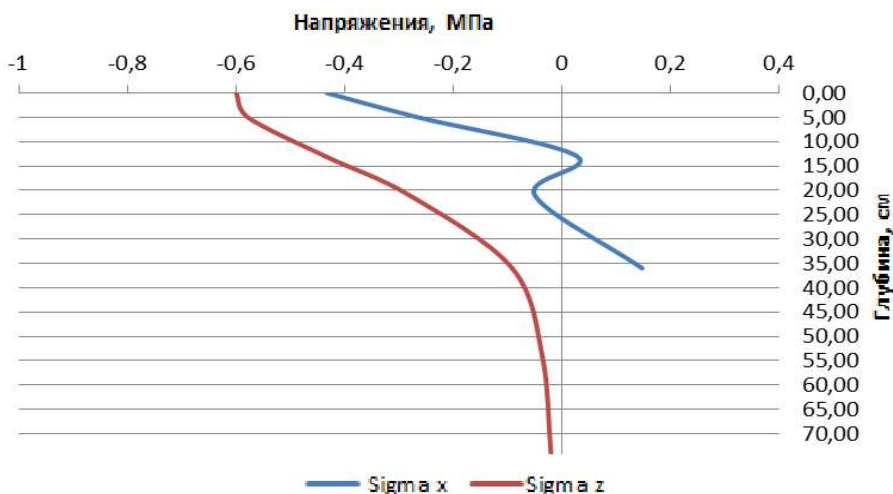


Рисунок 6 – Зміна по глибині нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, що виникають в конструкції дорожнього одягу при 40 °С (конструкція 1)

Figure 6 – Change of normal horizontal and vertical stresses in the road of pavement at 40 °C (construction 1)

Отримані результати також свідчать, що горизонтальні нормальні розтягуючі напруження покриття змінюються протягом доби при коливаннях температури.

Таким чином, проведений аналіз зміни температурного режиму асфальтобетонного покриття та його напруженого стану показує, що можуть виникати такі поєднання напруженого стану та температур шарів, коли граничний стан, з точки зору утворення втомного руйнування, може наступати і при інших температурах, передбачених методикою (ВБН) [1]. У зв'язку з цим, для оцінки впливу температури і напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на його довговічність, була застосована методика [2 - 4], [ ] з використанням модифікованої залежності Бартенєва:

$$t^*(\sigma, T) = B_t(T) \times \sigma^{-b_T(T)} \quad (1)$$

де  $V_t(T)$ ,  $b_t(T)$  – постійні, що залежать від температури та тривалості дії навантаження і визначаються за результатами лабораторних випробувань матеріалів;  
 $\sigma$  – напруження, що виникають в шарах дорожнього одягу при відповідних температурах.  
 Для значень параметрів  $V_t(T)$  і  $b_t(T)$  були отримані аналітичні вирази виду:

$$b_t(T) = A_b + B_b/T' + C_b \times e^{D_b/T'} \quad (2)$$

$$\lg V_t(T) = a_b + b_b/T' + r_b \times e^{\rho_b/T'} \quad (3)$$

де  $A_b$ ,  $B_b$ ,  $C_b$ ,  $D_b$ ,  $a_b$ ,  $b_b$ ,  $r_b$ ,  $\rho_b$  – постійні, які визначаються за результатами лабораторних випробувань на тривалу міцність при різних температурах і навантаженнях.

При цьому оцінка довговічності проводилася по співвідношенню кількості циклів до руйнування при відповідній температурі шару ( $N(T=t)$ ) до кількості циклів до руйнування при розрахунковій температурі ( $N(T=0)$ ).

В якості прикладу в таблиці 2 наведені результати розрахунків відносної довговічності асфальтобетонного покриття для конструкції дорожнього одягу 4.

Таблиця 2 – Відносна довговічність асфальтобетонного покриття при різних температурах  
 Table 2 – The relative durability of asphalt pavement at different temperatures

T, °C	R, МПа	E, МПа	$V_t(T)$	$b_t(T)$	$\sigma$ , МПа	$\frac{N_p(T=t)}{N_p(T=0)}$
0	8,8	6256	$6,49 \times 10^8$	5,01	0,31	1,00
10	6	3624	31672755	4,70	0,17	0,58
25	3,16	1440	559029,1	4,32	0,06	0,47

З результатів цих розрахунків випливає, що довговічність асфальтобетонних шарів може зменшитися в 1,5-2,0 рази, при повторних діях короткочасних навантажень, коли температури покриття будуть рівні 10 °C або 25 °C.

### Висновки

Виконаний аналіз свідчить, що істотну роль при прогнозуванні довговічності асфальтобетонного покриття та його розрахунку на міцність відіграє температура, що змінюються в річному і добовому режимах. Розтягуючі напруження в покритті виникають не тільки при низьких температурах під час весняного перезволоження ґрунтів, а також при інших температурних режимах. Так, при підвищенні температури закономірно зменшується і модуль пружності асфальтобетону, що призводить до зменшення величини горизонтальних нормальних розтягуючих напружень асфальтобетонних шарів при їх згині при дії транспорту, однак одночасно більш суттєво зменшується міцність асфальтобетону на розтяг, що призводить до зменшення його довговічності.

Проведений аналіз наведених результатів розрахунків свідчить про необхідність моделювання роботи асфальтобетонних покриттів при різних поєднаннях температури шарів з урахуванням її добових і річних коливань.

### Перелік посилань

1. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу
2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 -К., 1996 –406 с
3. S. Brown, N. Thom, P. Sanders A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking. Association of Asphalt Technologists. 2001, p. 543-571. <https://asphalttechnology.org/>.
4. Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. NCHRP Report, Issue 669, 2010, 70 p. <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22NCHRP%20Report%22>

TEMPERATURE OSCILLATIONS INFLUENCE IN ASPHALT CONCRETE LAYERS ON STRESS-DEFORMED CONDITION OF ROAD PAVEMENT

**Baran Serhii Anatoliiovych**, Ph.D. (Technology), National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: [baran\\_serg@ukr.net](mailto:baran_serg@ukr.net), tel. +380978806451, <https://orcid.org/0000-0002-3591-9880>.

**Bilobrytska Olena Ivanivna**, Ph.D., National Transport University, Department of mathematics, Associate Professor, e-mail: [o.bilobrytska@ntu.edu.ua](mailto:o.bilobrytska@ntu.edu.ua), tel. +380973602263, <https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>

**Hrynychak Ilona Illivna**, National Transport University, Department of road building materials and chemistry, assistant, e-mail: [ilonaborovyk@ukr.net](mailto:ilonaborovyk@ukr.net), tel. +380969786226, <https://orcid.org/0000-0002-8382-3824>

**Kutsman Oleksandr Mykhailovych**, National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: [kutsmans@ukr.net](mailto:kutsmans@ukr.net), tel. +380672960871, <https://orcid.org/0000-0002-4510-4570>

**Shevchuk Lyudmila Volodymyrivna**, Ph. D., National Transport University, assistant, Department of mathematics, e-mail: [ludmilashevchuk25@gmail.com](mailto:ludmilashevchuk25@gmail.com), tel. +380967153633, <https://orcid.org/0000-0002-5748-9527>.

**Summary.** The durability of asphalt pavement depends on the stress-strain state of the pavement structure, which is significantly affected by temperature fluctuations. The calculation and analysis of the stress-strain state of typical pavement structures with asphalt concrete pavement for roads at different temperatures of their operation are performed. It is established that a significant role in predicting the strength and durability of asphalt pavement is played by temperatures that vary in annual and daily conditions. Tensile stresses in the coating occur not only at low temperatures during the spring waterlogging of soils, but also at other temperatures. Thus, with increasing temperature, the modulus of elasticity of asphalt concrete naturally decreases, which leads to a decrease in the value of horizontal normal tensile stresses of asphalt concrete layers during their bending during transport, but at the same time more significantly reduces the tensile strength of asphalt concrete.

**Keywords.** Asphalt concrete layers, temperature fluctuations, stress-strain state, strength and durability.

**References**

1. VBN V.2.3-218-186-2004 Sporudy transportu. Dorozhnii odiah nezhorstkoho typu
2. Mozghovoi V.V. Nauchnye osnovy obespecheniya temperaturnoi treshchynostoikosty asfaltobetonnnykh pokrytyi: Dys. dokt. tekhn. nauk: 05.22.11 -K., 1996 –406 s
3. S. Brown, N. Thom, P. Sanders A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking. Association of Asphalt Technologists. 2001, p. 543-571. <https://asphalttechnology.org/>.
4. Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. NCHRP Report, Issue 669, 2010, 70 p. <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22NCHRP%20Report%22>

**ЩОДО ОЦІНКИ ЗНАЧЕНЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ПІЩАНИХ ҐРУНТІВ ЗА ДАНИМИ СТАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ**

**ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS OF SANDY SOILS BY  
STATIC AND DYNAMIC PROBING DATA**



*Литвиненко Анатолій Семенович, інженер шляхів сполучення, Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна», e-mail: [asl.weise@gmail.com](mailto:asl.weise@gmail.com), тел. +380676992514,*

*<https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>*



*Алексєєнко Олександр Валерійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри аеропортів, e-mail: [alex-aliexsieienko@gmail.com](mailto:alex-aliexsieienko@gmail.com), +380636039903, тел +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344.*

*<https://orcid.org/0000-0002-3796-9929>*

**Анотація:** В роботі, на основі аналізу табличних даних як чинних, так і колишніх нормативних документів з питань інженерно-геологічних вишукувань і проектування ґрунтових основ і фундаментів споруд та літературних джерел, а також власного досвіду, дається графічна і аналітична інтерпретація визначення основних значень фізико-механічних нормативних і розрахункових показників піщаних ґрунтів за даними показників статичного  $q$ , МПа та динамічного  $R_d$ , МПа зондування. Використання запропонованих емпіричних аналітичних залежностей дозволяє значно прискорити обробку даних польових інженерно-геологічних вишукувань і забезпечити більш об'єктивне порівняння стану таких ґрунтів на різних об'єктах при прийнятті проектних рішень. Вони також можуть бути використані при розробці вітчизняного програмного забезпечення, у разі його розробки і виготовлення, для автоматичного розрахунку значень фізико-механічних показників піщаних ґрунтів. Отримані аналітичні залежності представлені у вигляді двох таблиць для різних видів піщаних ґрунтів: окремо для вишукувань які здійснюються з використанням як статичних так і динамічних зондів. А графіки дозволяють наочно порівнювати ці залежності, що може надати новий матеріал для подальших наукових узагальнень і висновків в галузі ґрунтознавства і механіки ґрунтів.

**Ключові слова:** піщані ґрунти, статичне зондування, динамічне зондування, густина сухого ґрунту, кут внутрішнього тертя, град, зчеплення, модуль деформації.

**Вступ**

Вже багато десятиліть при інженерно-геологічних вишукуваннях для будівництва одночасно виконують, як бурові роботи для відбору зразків порушеного і не порушеного ґрунту, так і методи статичного і динамічного зондування ґрунтів. Та через значну складність відбору монолітів піщаних ґрунтів, особливо нижче рівня ґрунтових вод, при оцінці значень їх фізико-механічних показників на практиці безумовну перевагу надають саме результатам зондування.

За цей час на основі узагальнення багатьох досліджень були складені відповідні таблиці, які в першу чергу характеризують умовні межі переходу піщаних ґрунтів від одного стану щільності до іншого за їх коефіцієнтом пористості: пухкі, середньої густини, щільні, такі, як наприклад подані у

[1, с.17]. В дещо більш розширеному вигляді і із залученням кореляційних даних щодо механічних властивостей піщаних ґрунтів ( $\varphi$ ,  $C$ ,  $E_d$ ), вони надавались і у відповідних нормативних документах стосовно інженерних вишукувань для будівництва [2, с.92; 5; с.27], але без приміток щодо можливості інтерполяції цих даних для більш детального аналізу. Тому користування цими таблицями у виробничій і проектній практиці є досить незручною справою.

В цій роботі була зроблена спроба представлення в графічному і аналітичному вигляді даних емпіричних табличних з метою прискорення і покращення роботи геологів і проектувальників і можливості більш об'єктивної перевірки даних отриманих в реальних умовах роботи як фундаментів будинків і інженерних споруд, так і в насипах автомобільних доріг.

### Основна частина

На рис. 1, подані значення густини сухого ґрунту, піщаних ґрунтів  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> і коефіцієнта пористості  $e$ , од, та показників умовного динамічного опору ґрунтів зондуванню  $R_d$ , МПа (таблиця 1) для кварцевих пісків з  $\rho_s = 2,66\text{г/см}^3$  у вигляді потроєної шкали ординат.

Таблиця 1 – Емпіричних рівнянь визначення фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за показником динамічного зондування  $R_d$ , МПа

Table 1 – Empirical equations for the sandy soils physical and mechanical parameters determining on the indicator of dynamic sounding  $P_d$ , МПа

Вид піщаного ґрунту	Рівняння
Пісок грубо і середньо зернистий незалежно від вологості	$\rho_d = 1,41 + 0,28 l_g R_d$ $\varphi = 12,6 + 28,37 l_g R_d$ $C = -2,07 + 3,02 l_g R_d$ $E_d = 4,64 + 37,4 l_g R_d$
Пісок дрібнозернистий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,40 + 0,25 l_g R_d$ $\varphi = 21,2 + 13,6 l_g R_d$ $C = -1,93 + 4,57 l_g R_d$ $E_d = 0,7 + 34,0 l_g R_d$
Пісок дрібнозернистий водонасичений	$\rho_d = 1,45 + 0,23 l_g R_d$ $\varphi = 9,98 + 23,81 l_g R_d$ $C = -1,7 + 3,39 l_g R_d$ $E_d = 5,75 + 37,79 l_g R_d$
Пісок пилуватий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,39 + 0,29 l_g R_d$ $\varphi = 14,80 + 17,22 l_g R_d$ $C = 0,1 + 5,13 l_g R_d$ $E_d = -0,58 + 25,68 l_g R_d$
Пісок дрібнозернистий насипний маловологий і вологий без ущільнення і з ущільненням	$\rho_d = 1,53 + 0,22 l_g R_d$ $\varphi = 9,93 + 21,85 l_g R_d$ $C = -0,64 + 5,38 l_g R_d$ $E_d = -17,52 + 73,94 l_g R_d$

За аналогічною схемою можна побудувати відповідні потроєні шкали для густини сухого ґрунту і коефіцієнта пористості та опору ґрунтів зондуванню під конусом статичного зонда  $q$ , МПа, згідно даних таблиці 2.

Таблиця 2 – Емпіричних рівнянь визначення фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за показником статичного зондування  $q$ , МПа

Table 2 – Empirical equations for the sandy soils physical and mechanical parameters determining by static sounding  $q$ , МПа

Вид піщаного ґрунту	Рівняння
Пісок грубо і середньо зернистий незалежно від вологості	$\rho_d = 1,35 + 0,31 l_g q$ $\varphi = 12,45 + 17,97 l_g q$ $C = -1,58 + 2,95 l_g q$ $E_d = 3,16 + 36,22 l_g q$
Пісок дрібнозернистий не залежно від вологості	$\rho_d = 1,32 + 0,32 l_g q$ $\varphi = 12,64 + 21,35 l_g q$ $C = -3,18 + 5,73 l_g q$ $E_d = -5,0 + 40,7 l_g q$
Пісок пилюватий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,31 + 0,35 l_g q$ $\varphi = 15,88 + 17,85 l_g q$ $C = -0,51 + 5,01 l_g q$ $E_d = -7,22 + 38,44 l_g q$
Пісок пилюватий водонасичений	$\rho_d = 1,38 + 0,34 l_g q$ $\varphi = 16,86 + 18,28 l_g q$ $C = -1,11 + 6,0 l_g q$ $E_d = -0,48 + 37,4 l_g q$

Оскільки в більшості реальних випадків вишукувань доводиться мати справу саме з кварцевими, алювіальними, морено-зондровими і флювіогляціальними пісками як колишні, так і чинні СНиП чи ДСТУ дозволяють надавати значення фізико-механічних показників цих пісків незалежно від їх вологості, що ще більше спрощує задачу підбору емпіричних залежностей між ними та показниками статичного чи динамічного опору зондуванню.

Як показує проведений аналіз, всі ці залежності досить добре підпорядковуються логарифмічній залежності типу:

$$y = a + b l_g R_d \quad (1)$$

$$\text{чи } y = a + b l_g q \quad (2)$$

де  $y$  – параметр який визначається:

$\rho_d$  - густина сухого ґрунту;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя;

$C$  – зчеплення кПа;

$E_d$  – модуль деформації, МПа;

$a, b$  – емпіричні коефіцієнти;

$R_d$  – опір умовного динамічного опору ґрунтів;

$q$  – опір статичному зондуванню під конусом зонда.

Таким чином, виходячи із прийнятих в нормативних документах контрольних (межових) значень коефіцієнтів пористості -  $e$ , не становить складності підібрати для кожного виду піщаного ґрунту відповідні їм емпіричні коефіцієнти логарифмічних рівнянь, як це показано на рис. 1. Дані необхідні для побудови цих графіків (для динамічного зондування), тобто стосовно значень  $\rho_d = f(P_d)$  також показані у таблиці 1.

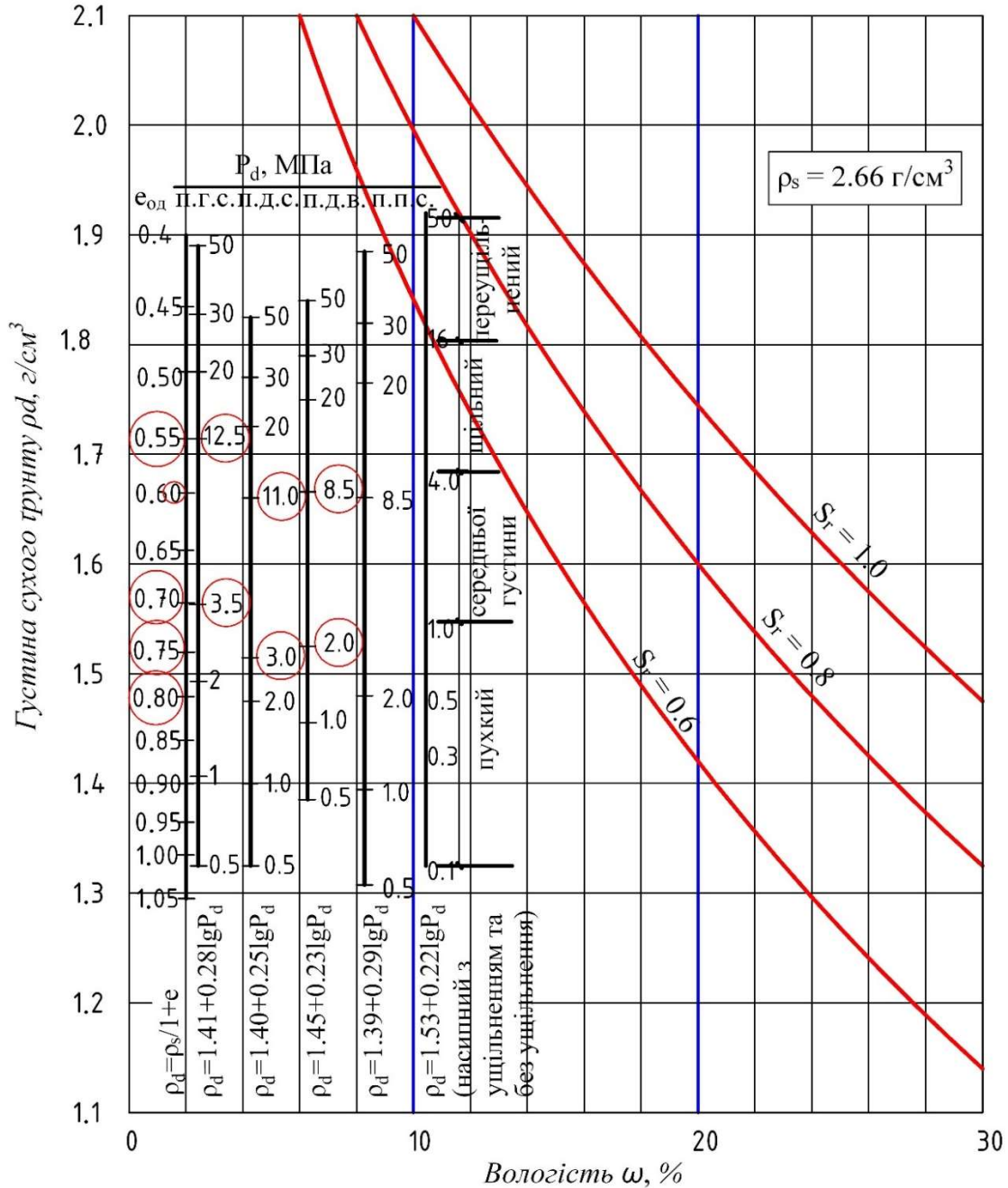


Рисунок 1 – Графічне порівняння рекомендацій чинних (ДСТУ) і колишніх (ГОСТ) щодо оцінки густини сухого ґрунту: піщаних ґрунтів природного залягання, методом динамічного зондування  
 Figure 1 – Graphic comparison of current (DSTU) and former (GOST) recommendations for the assessment of dry soil density: sandy soils of natural occurrence, the method of dynamic sounding

На рис. 2 наведено приклад графічної інтерпретації визначення значень фізико-механічних показників дрібнозернистий пісків маловологих і вологих. Емпіричні аналітичні залежності для цих показників також представлені у відповідній частині таблиці 1.

Щоб краще зрозуміти механізм аналітичної оцінки значень механічних показників будь-яких піщаних ґрунтів на рис. 3 подано приклад такої оцінки для тих же дрібнозернистий маловологих і вологих пісків. Тут здвоєною ( $e_{од}$  -  $R_d$ , МПа) є шкала абсцис, а показники  $\phi$ , град,  $C$ , кПа і  $E_d$ , МПа представлені відповідними відрізками шкали ординат. Як видно з цього рисунка у такий спосіб зручно порівнювати і аналізувати дані, що мають в різних нормативних документах [2, 5] різні представлення тобто, або через показник пористості  $e$ , од ґрунтів, яку у [5], або у значеннях  $R_d$ , як у [2].

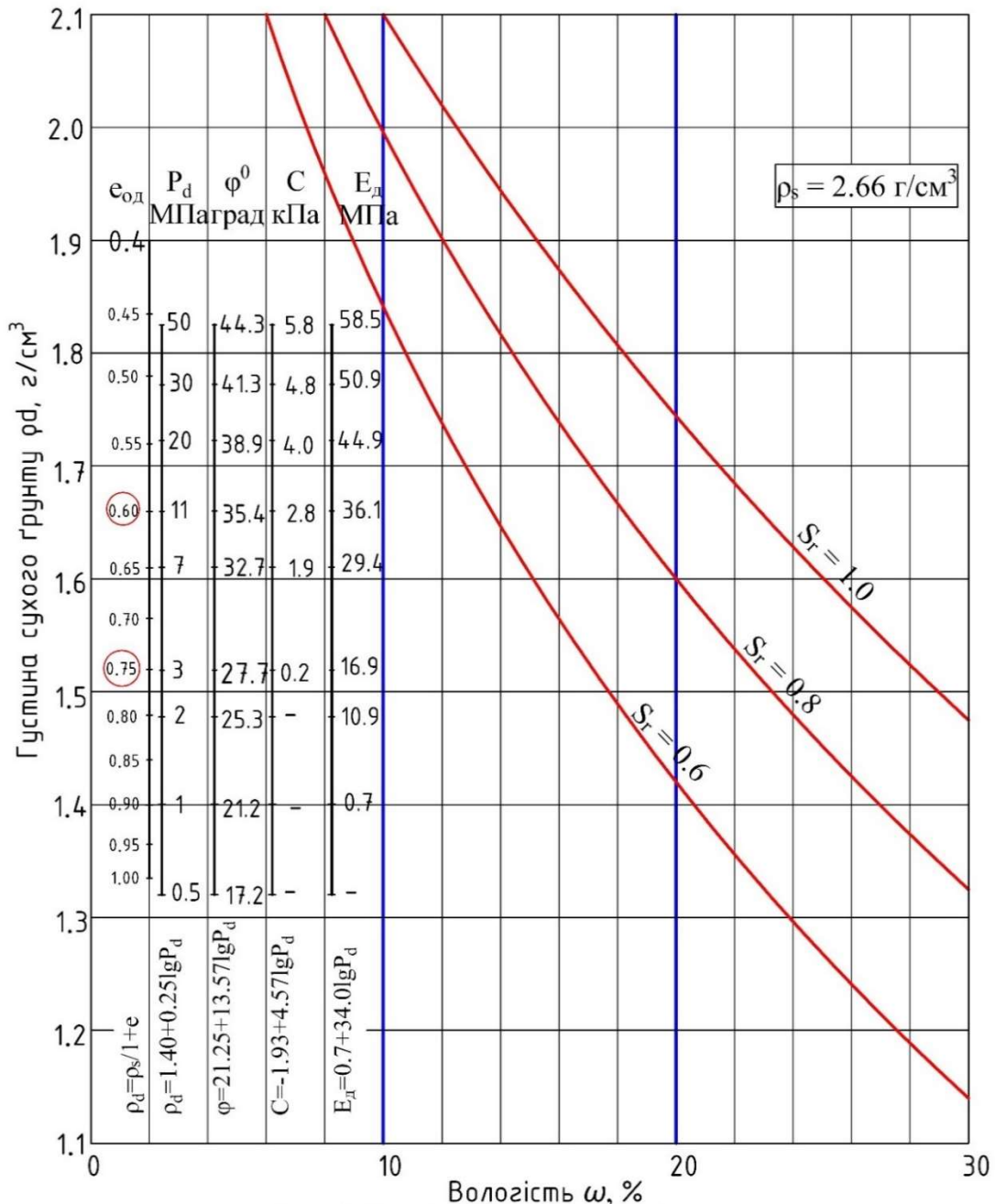


Рисунок 2 – Графічна інтерпретація значень фізико-механічних показників дрібнозернистого піску маловологого та вологого, природного залягання

Figure 2 – Graphic interpretation of the physical and mechanical parameters values of low-moisture and wet, natural occurrence fine-grained sand

З рис. 3 досить добре видно, як особливості одного так і іншого підходів і зникає необхідністю інтерполяції показників  $\phi$ ,  $C$  і  $E_d$  завдяки можливості їх безпосереднього обрахування через надані у цій роботі формули. Більш того, завдяки такому підходу і запропонованому в [7] принципу піонерної диференціації інженерно-геологічних розрізів за інженерно-геологічними елементами (ІГЕ) в першу чергу саме через аналіз значень опору ґрунтів зондуванню  $P_d$ , з'являється можливість більш ефективно визначати і аналізувати експериментальні дані щодо підтвердження, спростування чи уточнення отриманих нами емпіричних залежностей значень фізико-механічних показників піщаних ґрунтів, шляхом їх лабораторних випробувань.

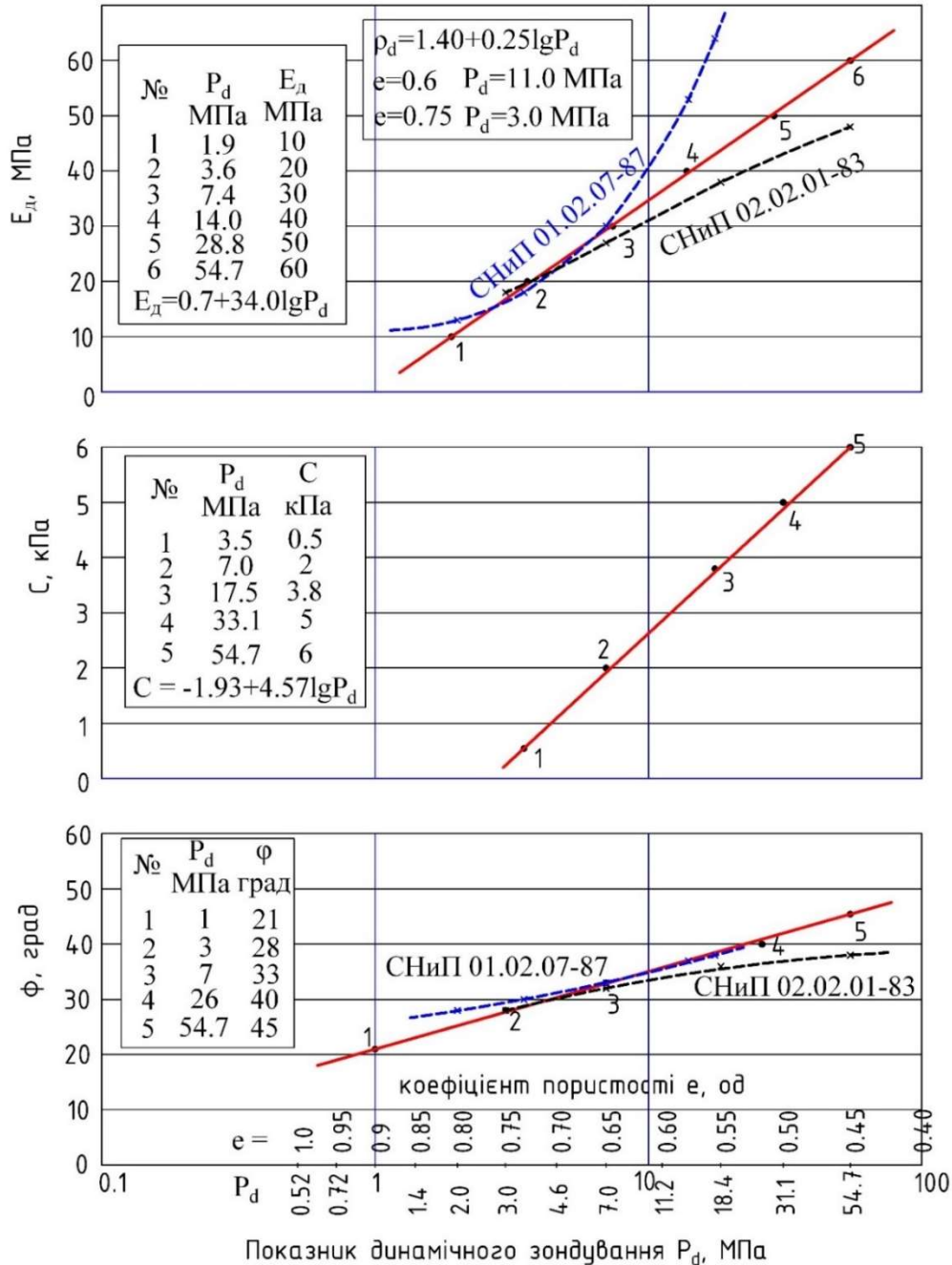


Рисунок 3 – Алгоритм оцінки механічних показників дрібнозернистого піску волового і волового за здовоною шкалою абсциси  $e_{од}-P_d$

Figure 3 – Algorithm for estimating the fine-grained sand of low-moisture and wet mechanical properties on a double scale of abscissa  $e_{od}-P_d$

**Висновки**

Надання чинним табличним нормативним значенням показників фізико-механічних властивостей піщаних ґрунтів, графічного і аналітичного змісту дозволяє не тільки краще усвідомлювати реальний стан таких ґрунтів в їх природному заляганні чи штучних інженерних спорудах, але і більш швидко і детально перевіряти їх в процесі геотехнічних вишукувань і проектування.

**Перелік посилань**

1. Ребрик Б. М. Справочник по бурению инженерно-геологических скважин. «Недра» М. 1983, 288 с.
2. СНиП 1.02.07-87 Инженерные изыскания для строительства. Госкомстрой СССР. М. 1988, 105с.
3. ДБН А.2.1-10-2008 Інженерні вишукування для будівництва. Мінрегіонбуд України Київ, 2008.
4. ДБН А.2.1-10-2014 Інженерні вишукування для будівництва. Мінрегіонбуд України Київ, 2014 (затверджений, але не чинний).
5. СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений. Основные положения проектирования. Госкомстрой СССР 1983, 67 с.
6. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд.(основні положення проектування) Мінрегіонбуд України Київ, 2009.
7. ДСТУ Б.2.1-9-2016 Ґрунти Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. ДП «Укр НДНЦ» 2017, 22 с.

**ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS OF SANDY SOILS BY STATIC AND DYNAMIC PROBING DATA**

**Lytvynenko Anatoalii Semenovich**, route engineer, M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine. [asl.weise@gmail.com](mailto:asl.weise@gmail.com), +380676992514, <https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>

**Aliksieienko Oleksandr Valeriiovych**, National transport university e-mail: [alexaliek-sieienko@gmail.com](mailto:alexaliek-sieienko@gmail.com), тел. +380636039903, <https://orcid.org/0000-0002-3796-9929>

**Annotation:** In the work, on the basis of the analysis of tabular data of both current and former normative documents on engineering-geological surveying and design of soil bases and foundations of structures and literary sources, as well as own experience, a graphical and analytical interpretation of determination of the basic values of physical-mechanical normative and calculated indices of sandy soils according to the indicators of static  $q$ , MPa and dynamic  $RD$ , MPa probing are given. The use of the proposed empirical analytical dependencies can significantly accelerate the processing of field engineering-geological surveying and provide more objective comparison of such soils condition at different objects while making design decisions. They can also be used in the development of resident software, in case of its development and manufacture for automatically calculating the values of the physical and mechanical parameters of sandy soils. The obtained analytical dependencies are presented in the form of two tables for different types of sandy soils: separately for surveying that are carried out using both static and dynamic probes. And the graphs allow you to visually compare these dependencies, that can provide new material for further scientific generalizations and conclusions in the field of soil science and mechanics.

**Key words:** sandy soils, static probing, dynamic probing, density of dry soil, deg, grip, deformation modulus.

**Referenses**

1. Rebryk B. M. Spravochnyk po burenyiu ynzhenerno-heolohycheskykh skvazhyn, (Geological Engineering Drilling Handbook). «Nedra» M. 1983, 288 s.
2. SNyP 1.02.07-87 Ynzhenernyye zyzyskanyia dlia stroytelstva (Engineering surveys for construction). Hoskomstroi SSSR. M. 1988, 105 s.
3. DBN A.2.1-10-2008 Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva (Engineering surveys for construction). Minrehionbud Ukrainy Kyiv, 2008.
4. DBN A.2.1-10-2014 Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva (Engineering surveys for construction). Minrehionbud Ukrainy Kyiv, 2014 (zatverdzhenyi, ale ne chynnyi).
5. SNyP 2.02.01-83 Osnovanyia zdanyi y soorzhenyi. Osnovnyie polozhenyia proektyrovanyia (Foundations of buildings and structures. Design Fundamentals). Hoskomstroi SSSR 1983, 67 s.
6. DBN V.2.1-10-2009 Osnovy ta fundamente sporud.(osnovni polozhennia proektuvannia) (Foundations of buildings and structures. Design Fundamentals) Minrehionbud Ukrainy Kyiv, 2009.  
DSTU B.2.1-9-2016 Hrunty Metody polovykh vyprobuvan statychnym i dynamichnym zonduvanniam (Soils Field test methods for static and dynamic probing). DP «Ukr NDNTs» 2017, 22 s.

INVESTIGATION OF THE THERMALLY STRESSED STATE OF SHALLOW SHELLS ON A RIGID BASE WITH A SLIDING CONTACT LAYERS USING ANALYTIC SOLUTIONS OF EQUATIONS OF ELASTICITY THEORY

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ З КОВЗАЮЧИМ КОНТАКТОМ ШАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ



**Marchuk Alexander V.**, *Dr. Sci. (Tech.)*, National Transport University professor, Mechanical engineering and strength of materials department professor, e-mail: [ksm\\_ntu@ukr.net](mailto:ksm_ntu@ukr.net), tel. +380994256775,

<https://orcid.org/0000-0001-8374-7676>.



**Levkivskiy Sergii A.**, National Transport University, Road vehicles department senior lecturer, e-mail: [s.a.levkovsky@gmail.com](mailto:s.a.levkovsky@gmail.com), tel. +380978316547

<https://orcid.org/0000-0003-1515-4240>.



**Gavrilenko Elena V.**, *Cand. Sci. (Phys.-Math.)*, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Associate Professor, e-mail: [iem.gavrilenko@meta.ua](mailto:iem.gavrilenko@meta.ua), tel. +380935768058

<https://orcid.org/0000-0003-3509-0299>.

**Abstract:** Modern calculations of layered plates and shells in a three-dimensional formulation are based on a technique where the distribution of the desired functions over the thickness of a structure is sought by the method of discrete orthogonalization. In this article, based on the approaches developed by the authors, the thermally stressed state of layered composite shallow shells with a rigidly fixed lower surface is analyzed. The distribution of the desired functions over the thickness of the structure is found based on the exact analytical solution of the system of differential equations.

An approach to the study of the thermal stress state of shallow composite shells is considered, and an analytical model is constructed for calculating the thermal stress state of shallow shells on a rigid base with a sliding contact of the layers. Currently, this is a very urgent task when calculating the pavement of bridges. A

feature of this approach is the assignment of the desired functions to the outer surfaces of the layers, which allows one to break the layer into sublayers, reducing the approximation error to almost zero. Using the model in question, an analysis of flat layered composite shells on a rigid base with a sliding contact of the layers under the influence of temperature loading was carried out.

To build a spatial model, a load option is selected with temperature loads (according to the sine law) and boundary conditions (Navier), which lead to the distribution of the desired functions in terms of a plate with trigonometric harmonics of the Fourier series. A polynomial approximation of the desired functions by thickness is involved.

Using the model in question, an analysis of flat layered composite shells on a rigid base with a sliding contact of the layers under the influence of temperature loading was carried out. The considered example showed that the proposed model provides sufficient accuracy in the calculations of layered shallow shells when considering each layer within one sublayer.

The proposed approach can be used as a reference method for testing applied approaches in calculating various stress states of layered flat composite shells.

**Key words:** temperature loads, tangential loads, thermo-stressed state, layered composite shells, semi-analytical finite element method.

**Introduction.** Calculations of layered plates and shells in a three-dimensional setting, including calculations for temperature effects, are most fully presented in [1]. Modern similar calculations are based on a technique where the distribution of unknown functions over the thickness of the structure is sought by the method of discrete orthogonalization.

In this article, based on the approaches developed by the authors, the thermally stressed state of layered composite sloping shells with a rigidly fixed lower surface is analyzed. The determination of the distribution of the unknown functions over the thickness of the structure occurs on the basis of an exact analytic solution of the system of differential equations.

### 1. Construction of the solution

In order to construct a spatial model, the variant of the loading by the temperature load (by the law of the sinus) and the boundary conditions (Navier) is chosen, which leads to the distribution of the desired functions in terms of the plate by the trigonometric harmonics of the Fourier series. The polynomial approximation of the desired functions in thickness is involved.

The layered structure in the Cartesian coordinate system is considered. The faces of the layers are evenly spaced at a certain distance and have zero curvature of the torsion  $k_{12} = 0$ . The variability of the main curvature is neglected  $k_{11} = const$ ;  $k_{22} = const$ . The construction is rather slender, that is, for the coefficients of the first quadratic form should be taken  $A_1 \approx l$ ;  $A_2 \approx l$ . It is assumed that the radii of curvature are considerably larger than the thickness of the structure and its outer surfaces have the same curvature, it is also possible to write  $l + k_{11}z$ ;  $l + k_{22}z \approx l$ . The introduced restrictions allow us to identify the curvilinear system of orthogonal coordinates with a planar orthogonal coordinate system. The  $X$  axis (lower index 1) and  $Y$  (lower index 2) are directed in the plan view,  $Z$  axis (lower index 3) for its thickness down;  $a_{k-1}$ ,  $a_k$  – coordinates of external surfaces of  $k$ -th layer of the plate along the  $Z$ -axis; a comma at the level of the index means a differentiation operation.

The vector of displacement, transverse components of the stress tensor, as well as the temperature distribution in the following form are depicted:

$$\begin{aligned}
 U_i^{(k)}(x, y, z) &= V_i^{(k)}(x, y) f_i^{(k)}(z); \\
 \sigma_{i3}^{(k)}(x, y, z) &= \tau_{i3}^{(k)}(x, y) f_{i+3}^{(k)}(z); \\
 T^{(k)}(x, y, z) &= t^{(k)}(x, y) f_7^{(k)}(z), (i = 1, 2, 3).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Using the Cauchy relations, as well as representing the displacements and transverse stresses (1), expressions for deformations:

$$\begin{aligned}
 e_{ii}^{(k)} &= V_{i,i}^{(k)} f_i^{(k)} + k_{ii} V_3^{(k)} f_3^{(k)}; \\
 e_{33}^{(k)} &= V_3^{(k)} f_{3,3}^{(k)}; \\
 2 e_{12}^{(k)} &= V_{1,2}^{(k)} f_1^{(k)} + V_{2,1}^{(k)} f_2^{(k)}; \\
 2 e_{i3}^{(k)} &= V_i^{(k)} f_{i,3}^{(k)} + V_{3,i}^{(k)} f_3^{(k)}, (i = 1, 2).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Hooke's law and relations for deformations (2) make it possible to determine the longitudinal components of the stress tensor  $\sigma_{11}^{(k)}$ ,  $\sigma_{22}^{(k)}$ ,  $\sigma_{12}^{(k)}$  with allowance for the temperature loading (1).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{11}^{(k)} &= B_{11}^{(k)}(V_{1,1}^{(k)} f_1^{(k)} + k_{11} V_3^{(k)} f_3^{(k)}) + B_{12}^{(k)}(V_{2,2}^{(k)} f_2^{(k)} + \\
 &+ k_{22} V_3^{(k)} f_3^{(k)}) + B_{13}^{(k)} \tau_{33}^{(k)} f_6^{(k)} - (\alpha_1 B_{11}^{(k)} + \alpha_2 B_{12}^{(k)}) t^{(k)}(x, y) f_7^{(k)}(z); \\
 \sigma_{22}^{(k)} &= B_{21}^{(k)}(V_{1,1}^{(k)} f_1^{(k)} + k_{11} V_3^{(k)} f_3^{(k)}) + B_{22}^{(k)}(V_{2,2}^{(k)} f_2^{(k)} + k_{22} V_3^{(k)} f_3^{(k)}) + \\
 &+ B_{23}^{(k)} \tau_{33}^{(k)} f_6^{(k)} - (\alpha_1 B_{21}^{(k)} + \alpha_2 B_{22}^{(k)}) t^{(k)}(x, y) f_7^{(k)}(z); \\
 \sigma_{12}^{(k)} &= G_{12}^{(k)}(V_{1,2}^{(k)} f_1^{(k)} + V_{2,1}^{(k)} f_2^{(k)}).
 \end{aligned} \tag{3}$$

Substituting the expressions for deformations (2) and deformations (3) into the variational Reissner principle, following [2], we obtain a resolving system of equations and corresponding boundary conditions. For articulating support (the Navier boundary conditions), if the external loads are given by the following law:

$$\begin{aligned}
 q_{13}^l(x, y, a_0) &= q_{11} \cos \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}; & q_{13}^n(x, y, a_n) &= q_{12} \cos \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}; \\
 q_{23}^l(x, y, a_0) &= q_{21} \sin \frac{\pi m x}{a} \cos \frac{\pi n y}{b}; & q_{23}^n(x, y, a_n) &= q_{22} \sin \frac{\pi m x}{a} \cos \frac{\pi n y}{b}; \\
 q_{33}^l(x, y, a_0) &= q_{31} \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}; & q_{33}^n(x, y, a_n) &= q_{32} \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b};
 \end{aligned}$$

$$T_{q3}^l(x, y, a_0) = T_{q31} \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}; \quad T_{q3}^n(x, y, a_0) = T_{q32} \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}.$$

The distribution of the unknown function in the shell plan is represented thus:

$$V_1^{(k)} = \tau_{13}^{(k)} = \cos \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}; \quad V_2^{(k)} = \tau_{23}^{(k)} = \sin \frac{\pi mx}{a} \cos \frac{\pi ny}{b};$$

$$V_3^{(k)} = \tau_{33}^{(k)} = \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}; \quad t^{(k)} = \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}.$$

Then the equilibrium equations for the orthotropic layered shell and the known steady-state heat conduction equation, which, in the framework of assumptions about the flatness of the shells, coincides with the well-known equation for the plate

$$\lambda_1^{(k)} T_{,11}^{(k)} + \lambda_2^{(k)} T_{,22}^{(k)} + \lambda_3^{(k)} T_{,33}^{(k)} = 0$$

with considering  $Q_3^{(k)}(x, y, z) = -t^{(k)}(x, y) \lambda_3^{(k)} f_{7,3}^{(k)}(z)$  are transformed as follows:

$$f_{1,3}^{(k)} = -f_3^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right) + f_4^{(k)} \left( \frac{1}{G_{13}^{(k)}} \right);$$

$$f_{2,3}^{(k)} = -f_3^{(k)} \left( \frac{\pi ny}{b} \right) + f_5^{(k)} \left( \frac{1}{G_{23}^{(k)}} \right);$$

$$f_{3,3}^{(k)} = f_1^{(k)} B_{13}^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right) + f_2^{(k)} B_{23}^{(k)} \left( \frac{\pi ny}{b} \right) + f_3^{(k)} \left( k_{11} B_{13}^{(k)} + k_{22} B_{23}^{(k)} \right) +$$

$$+ f_6^{(k)} B_{33}^{(k)} + f_7^{(k)} \left( B_{13}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{23}^{(k)} \alpha_2^{(k)} + \alpha_3^{(k)} \right);$$

$$f_{4,3}^{(k)} = f_1^{(k)} \left[ B_{11}^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right)^2 + G_{12}^{(k)} \left( \frac{\pi ny}{b} \right)^2 \right] +$$

$$+ f_2^{(k)} \left( B_{12}^{(k)} + G_{12}^{(k)} \right) \left( \frac{\pi mx}{a} \right) \left( \frac{\pi ny}{b} \right) - f_3^{(k)} \left[ k_{11} B_{11}^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right) + k_{22} B_{12}^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right) \right] -$$

$$- f_6^{(k)} B_{13}^{(k)} \left( \frac{\pi mx}{a} \right) + f_7^{(k)} \left( B_{11}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{12}^{(k)} \alpha_2^{(k)} \right) \left( \frac{\pi mx}{a} \right);$$

$$f_{5,3}^{(k)} = f_1^{(k)} \left( B_{12}^{(k)} + G_{12}^{(k)} \right) \left( \frac{\pi mx}{a} \right) \left( \frac{\pi ny}{b} \right) +$$

$$\begin{aligned}
 &+ f_2^{(k)} \left[ B_{22}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right)^2 + G_{12}^{(k)} \left( \frac{\pi x}{a} \right)^2 \right] - f_3^{(k)} \left[ k_{11} B_{21}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) + k_{22} B_{22}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) \right] - \\
 &- f_6^{(k)} B_{23}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) + f_7^{(k)} \left( B_{21}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{22}^{(k)} \alpha_2^{(k)} \right) \left( \frac{\pi y}{b} \right); \\
 &f_{6,3}^{(k)} = -f_1^{(k)} \left[ k_{11} B_{11}^{(k)} \left( \frac{\pi x}{a} \right) + k_{22} B_{12}^{(k)} \left( \frac{\pi x}{a} \right) \right] - \\
 &- f_2^{(k)} \left[ k_{11} B_{12}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) + k_{22} B_{22}^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) \right] + \\
 &+ f_3^{(k)} \left( k_{11}^2 B_{11}^{(k)} + 2k_{11} k_{22} B_{12}^{(k)} + k_{22}^2 B_{22}^{(k)} \right) + \\
 &+ f_4^{(k)} \left( \frac{\pi x}{a} \right) + f_5^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right) - f_6^{(k)} \left( k_{11} B_{13}^{(k)} + k_{22} B_{23}^{(k)} \right) + \\
 &+ f_7^{(k)} \left[ \left( B_{11}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{12}^{(k)} \alpha_2^{(k)} \right) k_{11} - \left( B_{21}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{22}^{(k)} \alpha_2^{(k)} \right) k_{22} \right] + \\
 &+ f_7^{(k)} \left( B_{21}^{(k)} \alpha_1^{(k)} + B_{22}^{(k)} \alpha_2^{(k)} \right) \left( \frac{\pi y}{b} \right); \\
 &f_{7,3}^{(k)} = -\frac{1}{\lambda_3^{(k)}} f_8^{(k)}; \\
 &f_{8,3}^{(k)} = -f_7^{(k)} \left[ \lambda_1^{(k)} \left( \frac{\pi x}{a} \right)^2 + \lambda_2^{(k)} \left( \frac{\pi y}{b} \right)^2 \right]. \tag{4}
 \end{aligned}$$

The solution of system (4) is found in this form:  $f_i^{(k)} = \mu_i^{(k)} e^{\beta^{(k)} z}$ ,  $(i = 1, \dots, 8)$ .

The roots of the system of characteristic equations can be real, as well as complex, and

$$\beta_7^{(k)} = -\beta_8^{(k)} = \sqrt{\frac{\lambda_1^{(k)}}{\lambda_3^{(k)}} \left( \frac{\pi x}{a} \right)^2 + \frac{\lambda_2^{(k)}}{\lambda_3^{(k)}} \left( \frac{\pi y}{b} \right)^2}.$$

Now the solution of the system of differential equations (4) can be represented as follows:

$$f_i^{(k)} = \mu_{i1}^{(k)} C_1^{(k)} e^{\beta_1^{(k)} z} + \mu_{i2}^{(k)} C_2^{(k)} e^{\beta_2^{(k)} z} + \mu_{i3}^{(k)} C_3^{(k)} e^{\beta_3^{(k)} z} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \mu_{i4}^{(k)} C_4^{(k)} e^{-\beta_1^{(k)} z} + \mu_{i5}^{(k)} C_5^{(k)} e^{-\beta_2^{(k)} z} + \mu_{i6}^{(k)} C_6^{(k)} e^{-\beta_3^{(k)} z} + \\
 & + C_7^{(k)} \mu_{i7}^{(k)} e^{\beta_7^{(k)} z} + C_8^{(k)} \mu_{i8}^{(k)} e^{-\beta_7^{(k)} z}; \\
 & f_7^{(k)} = C_7^{(k)} \mu_{77}^{(k)} e^{\beta_7^{(k)} z} + C_8^{(k)} \mu_{78}^{(k)} e^{-\beta_7^{(k)} z}; \\
 & f_8^{(k)} = C_7^{(k)} \mu_{87}^{(k)} e^{\beta_7^{(k)} z} + C_8^{(k)} \mu_{88}^{(k)} e^{-\beta_7^{(k)} z}, \quad (i = 1, \dots, 6).
 \end{aligned}$$

The constants of integration  $C_i^{(k)}$ ,  $i = 1, \dots, 8$  are found from the conjugation conditions of the layers.

## 2. Results of numerical studies

As an example, the thermo-stressed state of a three-layer hollow shell with the following physical-mechanical characteristics was considered:  $E_0 = 1 \text{ MPa}$ ;  $E_1^{(1)} = 172 \cdot 1000 \cdot E_0$ ;

$$E_2^{(1)} = E_3^{(1)} = 6,9 \cdot 1000 \cdot E_0; \quad G_{12}^{(1)} = G_{13}^{(1)} = 3,45 \cdot 1000 \cdot E_0; \quad G_{23}^{(1)} = 1,38 \cdot 1000 \cdot E_0;$$

$$v_{12}^{(1)} = v_{13}^{(1)} = v_{32}^{(1)} = 0,25 \quad (v_{21} / E_2 = v_{12} / E_1); \quad \lambda_1^{(1)} = 1,2 \frac{W}{m \cdot \text{deg}};$$

$$\lambda_2^{(1)} = \lambda_3^{(1)} = 0,8 \frac{W}{m \cdot \text{deg}}; \quad \alpha_0 = 1^\circ; \quad \alpha_1^{(1)} = 8,0 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_0;$$

$$\alpha_2^{(1)} = \alpha_3^{(1)} = 163,0 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_0; \quad h^{(1)} = \frac{h}{4} \quad (h = 1 \text{ m}). \text{ The second layer, the thickness}$$

$$h^{(2)} = \frac{h}{2}, \text{ identical to the first, but turned to } 90^\circ, \text{ the third layer is similar to the first, } a/h = 5 \text{ (} a = b$$

). Thermomechanical contact of the layers is perfect. The plate is loaded on the upper surface with a temperature distributed by the law of the sinus  $T_{q31} = 50 \cdot T_0$  ( $T_0 = 1^\circ$ ). The bottom surface temperature of zero

$$T_{q32} = 0. \text{ Curvature of the shell } k_{11} = \pm kr1; \quad k_{22} = \pm kr2 \quad (kr1 = \frac{8 \cdot (h/5)}{(a+b)/a};$$

$$kr2 = \frac{8 \cdot (h/5)}{(a+b)/b}). \text{ The calculation was made when considering each layer within a single sublayer. The}$$

value of temperature at the boundaries of the layers with consideration of each layer within a single sublayer: 50; 35.0164; 10.7681; 0.

Table 1 shows the dimensionless values of displacements,  $\bar{U}_1 = \frac{U_1}{h \cdot \alpha_0 \cdot T_0 \cdot 10^{-4}}$ ,

$$\bar{U}_3 = \frac{U_3}{h \cdot \alpha_0 \cdot T_0 \cdot 10^{-3}} \text{ as well as stresses } \bar{\sigma}_{11} = \frac{\sigma_{11}}{\alpha_0 \cdot T_0 \cdot E_0} \text{ and } \bar{\sigma}_{22} = \frac{\sigma_{22}}{\alpha_0 \cdot T_0 \cdot E_0} \text{ on the}$$

boundaries of layers of a tight shell with sliding contact of layers and with a rigidly fixed bottom surface.

Considered the variant with negative and positive curvature (Z axis is directed downwards).

Table 1 - Dimensional values of displacements and stresses on the boundaries of layers with sliding contact of layers and with a rigidly fixed bottom surface.

Таблиця 1 - Розмірні значення зміщень і напружень на межі шарів з ковзаючим контактом шарів і з жорстко закріпленою поверхнею дна.

№ layer	$\bar{U}_1$		$\bar{U}_3$		$\bar{\sigma}_{11}$		$\bar{\sigma}_{22}$	
$k_{11} = -kr1; \quad k_{22} = -kr2$								
1	-5.213 -5.504	-4.195 -2.317	4.858 -31.74	-23.06 -9.230	-5.213 -5.504	-4.195 -2.317	4.858 -31.74	-23.06 -9.230
2	-41.16 -35.56	-2.317 -2.969	-20.98 3.459	.2993 -6.160	-41.16 -35.56	-2.317 -2.969	-20.98 3.459	.2993 -6.160
3	-5.330 0	-2.969 0	-10.14 .2694	-11.48 .2177	-5.330 0	-2.969 0	-10.14 .2694	-11.48 .2177
$k_{11} = kr1; \quad k_{22} = kr2$								
1	-8.394 -3.677	-4.113 -2.235	-6.854 -23.25	-24.51 -9.730	-8.394 -3.677	-4.113 -2.235	-6.854 -23.25	-24.51 -9.730
2	-41.76 -36.27	-2.235 -2.631	-21.96 3.482	-11.07 .0909	-41.76 -36.27	-2.235 -2.631	-21.96 3.482	-11.07 .0909
3	-5.831 0	-2.631 0	-13.00 -0.644	-11.85 -0.521	-5.831 0	-2.631 0	-13.00 -0.644	-11.85 -0.521

**Conclusions.** The approach to the investigation of the thermally stressed state of layered composite shells is developed and a spatial model for calculating the thermally stressed state of flat shells on a rigid basis with sliding contact of layers is constructed. At the present time, this is a very topical task when calculating road pavement bridges. The peculiarity of such an approach is to assign the desired functions to the outer surfaces of the layers, which allows the layers to be broken into substrates, reducing the approximation error to practically zero. Using the considered model, an analysis of flat layered composite shells on a rigid basis with sliding contact of layers under the influence of temperature load was carried out. The considered example showed that the proposed model provides sufficient accuracy in calculations of layered flat shells when considering each layer within a single sublayer. The proposed approach can be used as a reference in the testing of applied approaches.

**References**

1. Hryhorenko YA.M., Vasylenko A.T., Pankratova N.D. (1991) Zadachi teoriiy uprugosti neodnorodnykh tel (The problems of the theory of elasticity of inhomogeneous bodies).- K .: Naukova dumka,-216 s. (rus)
2. Marchuk A.V. (1997) Vykorystannya variatsiynoho pidkhodu dlya doslidzhennya napruzhenno-deformovanoho stanu plastovykh plativok na zhorstkiy osnovi v trymerniy postanovtsi (Application of the variational approach for studying the stress-strain state of laminated plates on a rigid base in a three-dimensional formulation) // Problemy prochnosti.-N6.-S.86-94. (rus)
3. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. (1999) Statics, vibrations and stability of composite panels with gently curved orthotropic layers. 1. Statics and vibrations // Mechanics of Composite Materials.-35,N4.-P.285-292.
4. Hryhorenko YA.M., Vlaykov H.H., Hryhorenko A.YA. (2006) Chyslenno-analitychne rishennya zadach mekhaniky obolonok na osnovi riznykh modeley (Numerically-analytical solution of the problems of shell mechanics on the basis of different models). -K .: Akademyryodyka,-472 s. (rus)
5. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. (1997) Calculation of layered structures by semianalytic method of finite elements // Mechanics of Composite Materials.-33,N6.-P.553-556.

6. Grigorenko Ya. M., Grigorenko A. Ya. (2013) Static and Dynamic Problems for Anisotropic Inhomogeneous Shells with Variable Parameters and Their Numerical Solution (Review) // Int. Appl. Mech.–49,N2.– P.123-193.

7. Marchuck A. V., Piskunov V. G. (1997) Raschet sloistyykh konstruksiy poluanaliticheskim metodom konechnykh elementov (Sandwich structure calculation via semianalytic method of finite elements). // Composite materials mechanics. (rus)

8. Bazhenov V.A., Guliar A.I., Sakharov A.S., Solodey I.I. (2012) Napivanaliticheskiy metod skinchenykh elementiv v zadachakh dynamiki prostorovykh til (Semianalytic method of finite elements in strain bodies mechanics) // K.: NII SM. (ukr)

9. Zenkevich O., Morgan K. (1986) Konechnyye elementy i approksimatsiya (Finite elements and approximation). M.: Mir. (rus)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ З КОВЗАЮЧИМ КОНТАКТОМ ШАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

**Марчук Олександр Васильович**, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри опору матеріалів і машинознавства, e-mail: [ksm\\_ntu@ukr.net](mailto:ksm_ntu@ukr.net), тел. +380994256775, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка (Суворова), 1, к. 113., <https://orcid.org/0000-0001-8374-7676>.

**Левківський Сергій Анатолійович**, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри дорожніх машин, e-mail: [s.a.levkovsky@gmail.com](mailto:s.a.levkovsky@gmail.com), тел. +380978316547, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка (Суворова), 1, к. 226, <https://orcid.org/0000-0003-1515-4240>.

**Гавриленко Олена Валеріївна**, кандидат фізико-математичних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, e-mail: [iem.gavrilenko@meta.ua](mailto:iem.gavrilenko@meta.ua), tel. +380935768058 Україна, 03056, м. Київ, вул. Політехнічна, 41, будівля 18, к. 428, 429/1, <https://orcid.org/0000-0003-3509-0299>.

**Анотація:** Сучасні розрахунки шаруватих плит і оболонок в тривимірній постановці засновані на методиці, де розподіл шуканих функцій по товщині конструкції розшукується методом дискретної ортогоналізації. В даній статті на основі підходів, розроблених авторами, проаналізований термонапружений стан шаруватих композитних пологих оболонок з жорстко закріпленою нижньою поверхнею. Знаходження розподілу шуканих функцій по товщині конструкції відбувається на основі точного аналітичного рішення системи диференціальних рівнянь.

Розглянутий підхід до дослідження термонапруженого стану пологих композитних оболонок та побудовано аналітичну модель для розрахунку термонапруженого стану пологих оболонок на жорсткій основі з ковзаючим контактом шарів. На теперішній час це є вельми актуальна задача при розрахунку дорожніх покриттів мостів. Особливістю такого підходу є віднесення шуканих функцій до зовнішніх поверхонь шарів, що дозволяє розбивати шари на підшари, зменшуючи похибку апроксимації практично до нуля. З використанням розглянутої моделі проведений аналіз пологих шаруватих композитних оболонок на жорсткій основі з ковзаючим контактом шарів під впливом температурного навантаження.

Для побудови просторової моделі вибирається варіант навантаження температурним навантаженням (за законом синуса) і граничних умов (Нав'є), який призводить до розподілу шуканих функцій в плані плити за тригонометричними гармоніками ряду Фур'є. Залучається поліноміальна апроксимація шуканих функцій по товщині.

З використанням розглянутої моделі проведений аналіз пологих шаруватих композитних оболонок на жорсткій основі з ковзаючим контактом шарів під впливом температурного навантаження. Розглянутий приклад засвідчив, що запропонована модель забезпечує достатню точність в розрахунках шаруватих пологих оболонок при розгляданні кожного шару в рамках одного підшару.

Запропонований підхід може застосовуватися у якості еталонного методу при тестуванні прикладних підходів в розрахунках різних напружених станів шаруватих пологих композитних оболонок.

**Ключові слова:** температурні навантаження, дотичні навантаження, термонапружений стан, шаруваті композитні оболонки, напіваналітичний метод кінцевих елементів.

### Перелік посилань

1. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Задачи теории упругости неоднородных тел.– К.: Наукова думка, 1991.–216 с.

2. Марчук А.В. Применение вариационного подхода для исследования напряженно-деформированного состояния слоистых пластин на жестком основании в трехмерной постановке //Проблемы прочности.– 1997.–№6.–С.86-94.

3. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. Statics, vibrations and stability of composite panels with gently curved orthotropic layers. 1. Statics and vibrations // Mechanics of Composite Materials.– 1999.–35,N4.– P.285–292.

4. Григоренко Я.М., Влайков Г.Г., Григоренко А.Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. –К.:Академперіодика, 2006. –472 с.

5. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. Calculation of layered structures by semianalytic method of finite elements // Mechanics of Composite Materials. – 1997.–33,N6.–P.553-556.

6. Grigorenko Ya. M., Grigorenko A. Ya. Static and Dynamic Problems for Anisotropic Inhomogeneous Shells with Variable Parameters and Their Numerical Solution (Review) // Int. Appl. Mech.–2013.– 49,N2.– P.123-193.

7. Марчук А.В., Пискунов В.Г. Расчет слоистых конструкций полуаналитическим методом конечных элементов // Механика композитных материалов.– 1997.– 33, N6.– С. 781–785.

8. Баженов В.А., Гуляр О.І., Сахаров О.С., Солодей І.І. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах динаміки просторових тіл.–К., 2012.–248 с.

9. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. –М.: Мир.– 1986.–318 с.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТОЧОК ШТАМПА  
ПРИ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ДОРОЖНИХ КОНСТРУКЦІЙ

THE DEVELOPMENT OF STAMP POINTS DISPLACEMENT MATHEMATICAL MODEL  
BY STATIC TESTS OF ROAD STRUCTURES



**Shuliak Ivan Stanislavovich**, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, e-mail: [i.s.shuliak@gmail.com](mailto:i.s.shuliak@gmail.com), +380506437690,

<https://orcid.org/0000-0003-0609-731X>



**Sukhonosov Serhii Oleksandrovich**, State Enterprise «Scientific and technical center «Road quality control», Deputy Director of supervision over road operating condition and traffic safety, e-mail: [s.o.sukhonosov@gmail.com](mailto:s.o.sukhonosov@gmail.com), +380630637653,

<https://orcid.org/0000-0001-5140-920X>



**Chechuha Oleksand S.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: [chechuga77@gmail.com](mailto:chechuga77@gmail.com), tel. +380662019442, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138.

<https://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

**Abstract.** In various static stamp tests methods, both foreign and Ukrainian, it is foreseen to use a different number of sensors for stamp settlement measuring.

Austrian method with three displacement sensors allows to reveal the stamp warping while loading, but it is unclear how to determine the settlement in the stamp center, when the sensor readings at the moment of warping will be completely different. The German method with a single displacement sensor is much simpler, but does not consider the stamp warping. The use of Ukrainian methodology is not appropriate at all, because two displacement sensors do not allow to observe the stamp warping.

The article is focused on mathematical model for the displacement of stamp points in road structures static testing development with theoretical justification of necessary and sufficient number of sensors for stamp settlement measuring.

Initially, the stamp displacement under warping in a flat deformed condition is considered as a rotation on a certain angle  $\alpha$  and a parallel transfer.

It has been established that in this case, the stamp settlement with enough accuracy for engineering practice can be measured with a single displacement sensor installed in the stamp center.

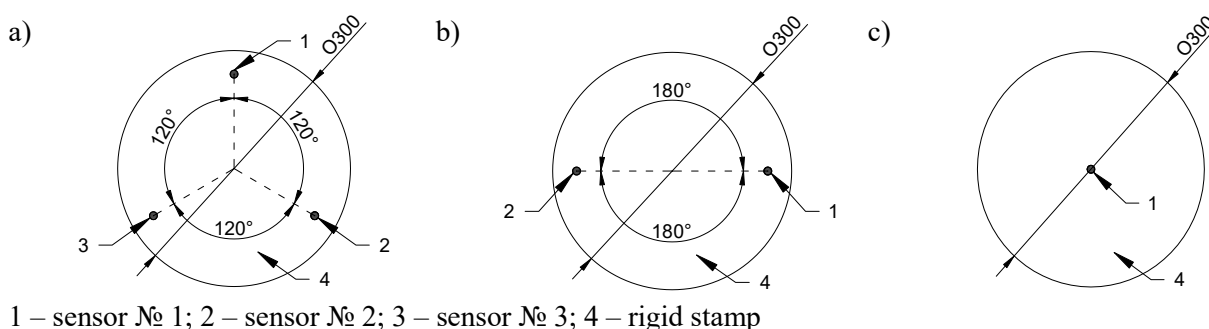
In fact, the stamp can rotate not only around the axis  $O_y$ , but also around the  $O_x$  axis. Therefore, a separate mathematical model is constructed and describes the process of stamp displacement while it's warping in a volumetric deformed condition.

The developed mathematical model provides an opportunity to determine the settlement in the stamp center, necessary for the modulus of elasticity calculation or modulus of deformation in the case when the stamp at the warping moment will rotate both around the axis  $O_y$  and around the  $O_x$  axis, and the rotation angles  $\alpha$  and  $\beta$  will be significant.

**Keywords:** road structure, static stamp tests, displacement sensors, stamp warping, settlement in the stamp center.

**Introduction.** One of the most objective methods of road structures condition assessing and their layers is the plate bearing tests in which the load is transmitted through a rigid stamp and the vertical deformation (full or elastic) is measured before or after the load is removed. According to the defined full or elastic deflection, respectively, is the deformation module or modulus of elasticity, which are the main indicators of layer deformation or road structure as a whole.

**Materials and methods.** Different methods of static plate bearing tests, both foreign and Ukrainian, provide different number of displacement sensors use for stamp settlement measuring (Fig. 1).



1 – sensor № 1; 2 – sensor № 2; 3 – sensor № 3; 4 – rigid stamp

Figure 1 – Schemes of displacement sensors placement by the methodology: a) ÖNORM B 4417 (Austria) [1-5]; б) VBN V.2.3-218-186-2004 (Ukraine) [6]; в) DIN 18134 (Germany) [1, 7]

Рисунок 1 – Схеми розміщення датчиків переміщень за методикою: а) ÖNORM B 4417 (Австрія) [1-5]; б) ВБН В.2.3-218-186-2004 (Україна) [6]; в) DIN 18134 (Німеччина) [1, 7]

Austrian technique use with three displacement sensors [1-5] (Fig. 1, a) reveals skewing of stamp during loading, but it is unclear how to determine the settlement in the stamp center when the sensors are completely different at the moment of warping. The German technique with a single displacement sensor [1, 7] (Fig. 1, c) is much simpler but does not take into account the stamp warping. The use of the Ukrainian methodology [6] (Fig. 1, b) is not advisable at all, since the two displacement sensors do not allow keep a close watch on stamp warping.

The aim of work is to develop a mathematical model of the displacement of stamp points during static tests of road structures and to substantiate theoretically the necessary and sufficient number of sensors for stamp settlement measurements.

**Results and Discussion.** In the flat case of stamp displacement during its warping, it can be considered as a rotation at a certain angle  $\alpha$  and a parallel transfer (Fig. 2).

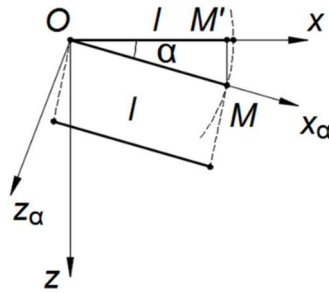


Figure 2 – Stamp replacement during its warping in a flat case  
Рисунок 2 – Переміщення штамп при перекосі в плоскому випадку

Then in the system  $xOz$  the coordinates of point  $M$ :

$$\begin{aligned} x_M &= l \cdot \cos \alpha, \\ z_M &= l \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

If  $\alpha \ll 1$ , then:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \alpha, \\ \cos \alpha &= 1, \\ \operatorname{tg} \alpha &= \alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

hence  $OM = l$ .

In this case, the settlement in the stamp center can be calculated by equation:

$$S_i = \frac{S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3}}{3}, \quad (3)$$

where  $S_{i_1}, S_{i_2}, S_{i_3}$  – readings of displacement sensors arranged as shown in Fig. 1, a.

In this case, the parallel transfer is not very interesting because all the points move by the same value. In the more general case, when the point  $M$  does not lie on the  $Ox$  or  $Oz$  axis (Fig. 3):

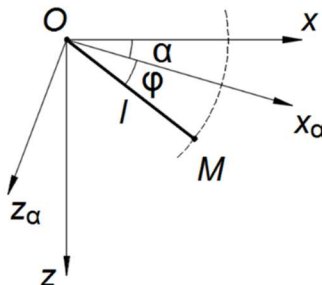


Figure 3 – Coordinate conversion when axes are rotated  
Рисунок 3 – Перетворення координат при повороті осей

Hence:

$$\begin{aligned}x_{\alpha} &= l \cdot \cos \varphi, \\z_{\alpha} &= l \cdot \sin \varphi, \\x &= l \cdot \cos(\alpha + \varphi), \\z &= l \cdot \sin(\alpha + \varphi).\end{aligned}\tag{4}$$

Then:

$$\begin{aligned}x &= x_{\alpha} \cdot \cos \alpha - z_{\alpha} \cdot \sin \alpha, \\z &= x_{\alpha} \cdot \sin \alpha + z_{\alpha} \cdot \cos \alpha.\end{aligned}\tag{5}$$

Denote the matrix:

$$X = \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}; X_{\alpha} = \begin{pmatrix} x_{\alpha} \\ z_{\alpha} \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}.\tag{6}$$

Then we have the matrix equation:

$$X = A \cdot X_{\alpha}.\tag{7}$$

Matrix  $A$  is not degenerate, so it has an inverse matrix that can be represented as:

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}.\tag{8}$$

Then

$$x_{\alpha} = A^{-1} \cdot x,\tag{9}$$

or we can write:

$$\begin{aligned}x_{\alpha} &= x \cdot \cos \alpha + z \cdot \sin \alpha, \\z_{\alpha} &= -x \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha.\end{aligned}\tag{10}$$

In fact, the stamp can rotate not only around the  $Oy$  axis, but also around the  $Ox$  axis (Fig. 4).

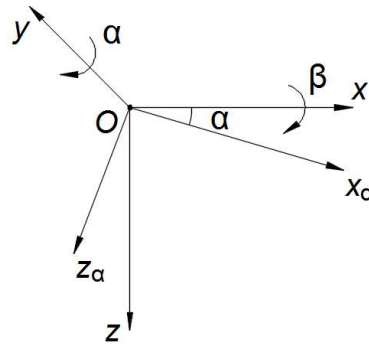


Figure 4 – Stamp replacement during its warping in a spatial case

Рисунок 4 – Переміщення штампа при перекосі в просторовому випадку

In this case, the results of 3D modeling of stamp warping in the PC «AutoCAD» indicate that in this case, the dependence (3) will already be incorrect (Fig. 5).

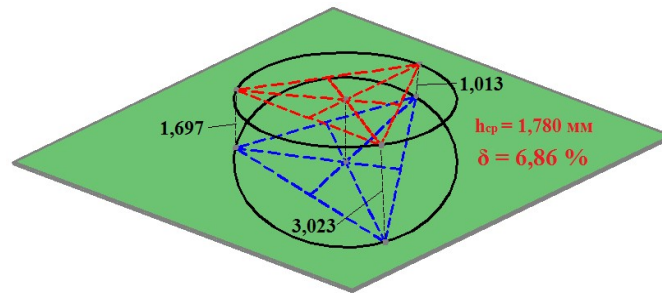


Figure 5 – Results of 3D simulation of stamp warping in PC «AutoCAD»

Рисунок 5 – Результати 3D моделювання перекоосу штампа в ПК «AutoCAD»

Then we can get equations similar to (5) and (10) to move from one coordinate system to another. The obtaining formulas will include both angle  $\alpha$  and angle  $\beta$ .

In practice, it is very difficult to determine which angle the stamp will return with respect to the  $Ox$  axis and relative to the  $Oy$  axis (Fig. 6), since the behavior of the stamp is completely unpredictable.

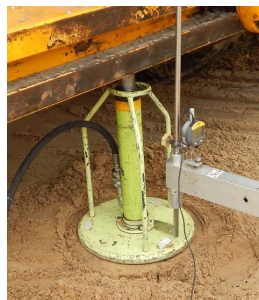


Figure 6 – Stamp warping at soil base tests conducting

Рисунок 6 – Перекос штампа при проведенні випробувань ґрунтової основи

Therefore, there are difficulties in solving the system of equations with two unknowns  $\alpha$  and  $\beta$ . Therefore, let us consider another model of finding the stamp warping of central point  $O$ .

We assume that in the undeformed condition the stamp is in the plane  $z = 0$ , and at points  $A, B, C$  there are displacement indicators (Fig. 7).

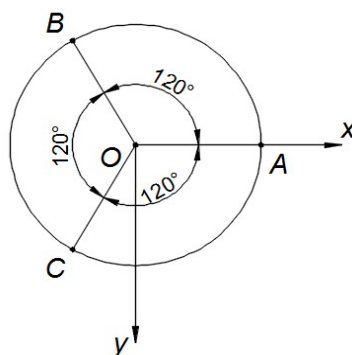


Figure 7 – The position of displacement indicators on the stamp in the deformed condition  
Рисунок 7 – Положення індикаторів переміщення на штампі в недеформованому стані

From here we can determine the coordinates of points  $A$ ,  $B$  and  $C$  in space. Under load, the stamp settles and warps. The points  $A$ ,  $B$ ,  $C$  are shifted in space along the axis of  $O_z$  by the values  $z_A$ ,  $z_B$ ,  $z_C$  respectively. These replacements are determining by indicators. It is known that through three points that do not lie on one line, you can draw a plane and only one. The equation of this plane can be written as:

$$\begin{vmatrix} x-x_A & y-y_A & z-z_A \\ x_B-x_A & y_B-y_A & z_B-z_A \\ x_C-x_A & y_C-y_A & z_C-z_A \end{vmatrix} = 0. \quad (11)$$

Dividing the determinant by the elements of the first line we get:

$$(x-x_A) \cdot \begin{vmatrix} y_B-y_A & z_B-z_A \\ y_C-y_A & z_C-z_A \end{vmatrix} - (y-y_A) \cdot \begin{vmatrix} x_B-x_A & z_B-z_A \\ x_C-x_A & z_C-z_A \end{vmatrix} + (z-z_A) \cdot \begin{vmatrix} x_B-x_A & y_B-y_A \\ x_C-x_A & y_C-y_A \end{vmatrix} = 0, \quad (12)$$

or

$$\begin{aligned} & (x-x_A) \cdot ((y_B-y_A) \cdot (z_C-z_A) - (z_B-z_A) \cdot (y_C-y_A)) - \\ & - (y-y_A) \cdot ((x_B-x_A) \cdot (z_C-z_A) - (z_B-z_A) \cdot (x_C-x_A)) + \\ & + (z-z_A) \cdot ((x_B-x_A) \cdot (y_C-y_A) - (y_B-y_A) \cdot (x_C-x_A)) = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Having opened the brackets, we obtain the equation of the plane, which can be written in the form:

$$A^* \cdot x + B^* \cdot y + C^* \cdot z + D^* = 0. \quad (14)$$

Before deformation, the points were lying on a plane  $z = 0$ , normal vector of that plane

$$\vec{n}_1 = \{0; 0; 1\}. \quad (15)$$

After deformation, the points have passed to the plane (2.14), normal vector of this plane

$$\vec{n}_2 = \{A^*; B^*; C^*\}. \quad (16)$$

The angle between planes  $z = 0$  and (14) is equal to the angle between the vectors  $\vec{n}_1$  and  $\vec{n}_2$  (Fig. 8).

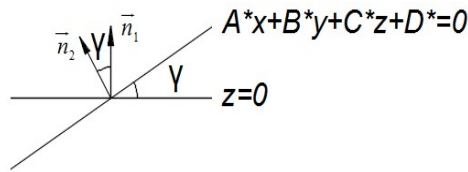


Figure 8 – Angle between stamp planes before and after warp  
Рисунок 8 – Кут між площинами штамп до і після перекосу

Let's find this angle:

$$\cos \gamma = \frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{|\vec{n}_1| \cdot |\vec{n}_2|} \quad (17)$$

Finding the dot product and the modules of corresponding vectors, providing that angle is sharp, we obtain:

$$\cos \gamma = \frac{|C^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}} \quad (18)$$

The plane of stamp before deformation  $z = 0$  will intersect with the plane after deformation (14) along a straight line lying in the plane  $xOy$  (Fig. 9):

$$A^* \cdot x + B^* \cdot y + D^* = 0. \quad (19)$$

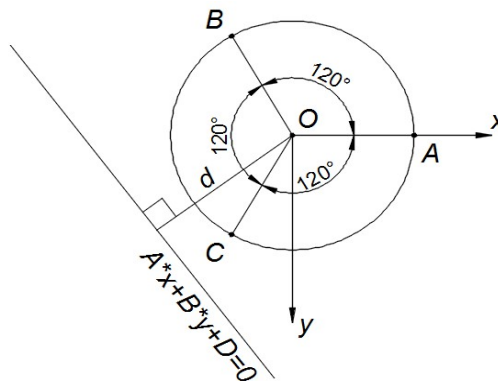


Figure 9 – The location of the intersection of two planes in the plane  $xOy$   
Рисунок 9 – Розташування прямої перетину двох площин в площині  $xOy$

The distance from the stamp center point  $O$  in the undeformed condition to the straight line (19) is found by equation:

$$d = \frac{|A^* \cdot x_0 + B^* \cdot y_0 + D^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2}}} \quad (20)$$

Accordingly, the settlement in the stamp center of the  $OO'$  will be:

$$OO' = d \cdot \text{tg} \gamma. \quad (21)$$

**Conclusions and Recommendations.** Therefore, analyzing the presented research results, we can conclude that by suggested mathematical model using [8], it is possible to determine the settlement in the stamp center necessary to calculate the modulus of elasticity or deformation modulus, in which case the stamp will rotate around the axis  $Oy$  and around the  $Ox$  axis, and the angles of rotation  $\alpha$  and  $\beta$  will be significant.

In the case when the stamp rotates only around the  $Ox$  or  $Oy$  axis, or when the angles  $\alpha$  and  $\beta$  are insignificant, the dependence (3) is fair and the stamp settlement with sufficient engineering precision can be measured by a single displacement sensor mounted in the stamp center.

In order to estimate the angles values on which can actually rotate the stamp during warping, as well as to determine definitively enough sensors when making measurements, it is necessary to conduct experimental studies.

### References

1. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Untersuchungen des dynamischen Lastplattenversuches mit dem Leichten Fallgewichtsgerät unter Verwendung der Randelement-methode. *Österreichisch Ingenieur - und Architekten-Zeitschrift*. W., 2005. № 4–5. P. 116.
2. ÖNORM B 4417 (1978): Erd- und Grundbau. Untersuchung von Böden. Lastplattenversuch. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
3. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 11.061 (1975): Grundlagen. Bodenphysikalische Prüfverfahren. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
4. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8.24 (1979): Erdarbeiten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
5. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8S.05.11 (1997): Oberbauarbeiten (ohne Deckarbeiten) Tragschichten. Ungebundene Tragschichten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
6. Sporudy transportu. Dorozhni odiah nezhorstkoho typu [Transport constructions. Flexible pavement type]. (2004). *VBN V.2.3-218-186-2004 from 1st January 2005*. Kyiv: Ukravtodor [in Ukrainian].
7. DIN 18134 (1990): Baugrund. Versuche und Versuchsgeräte. Platten-druckversuch. Deutsches Institut für Normung.
8. Shuliak, I.S. (2018). Matematychna model peremishen tochok shtampa pry statychnykh vyprovuvanniakh [Stamp points displacement mathematical model by static tests]. Abstracts of Papers: *LXXIV naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobotnykiv vidokremenykh strukturnykh pidrozdiliv Natsionalnoho transportnoho universytetu - LXXIV scientific conference of higher-education teaching personnel, postgraduates, students and staffers of structural divisions of National transport university*. (pp. 211). Kyiv [in Ukrainian].

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТОЧОК ШТАМПА ПРИ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

**Шуляк Іван Станіславович**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, e-mail: i.s.shuliak@gmail.com, +380506437690, <https://orcid.org/0000-0003-0609-731X>

**Сухоносів Сергій Олександрович**, Державне підприємство «Науково-технічний центр «Дорожній контроль якості», заступник завідувача відділу нагляду за експлуатаційним станом доріг та безпеки руху, e-mail: s.o.sukhonosov@gmail.com, +380630637653, <https://orcid.org/0000-0001-5140-920X>

**Чечуга Олександр Сергійович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138. <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Анотація.** В різних методиках статичних штампових випробувань, як закордонних, так і українській, передбачено використання різної кількості датчиків переміщень для вимірювання осідання штампа.

Використання австрійської методики з трьома датчиками переміщень дозволяє виявити перекошування штампа при навантаженні, але незрозуміло, як визначити осідання в центрі штампа, коли показання датчиків в момент перекошування будуть абсолютно різними. Німецька методика з одним датчиком переміщення набагато простіша, але не враховує перекошування штампа. Використання української методики взагалі не доцільне, оскільки два датчики переміщень не дають змоги відслідкувати перекош штампа.

Стаття присвячена розробці математичної моделі переміщень точок штампа при статичних випробуваннях дорожніх конструкцій з теоретичним обґрунтуванням необхідної та достатньої кількості датчиків для проведення вимірювань осідання штампа.

Спочатку розглянуто переміщення штампа при перекоші в плоскому деформованому стані як поворот на деякий кут  $\alpha$  і паралельний перенос.

Встановлено, що в такому випадку осідання штампа з достатньою для інженерної практики точністю можна виміряти одним датчиком переміщення, встановленим в центрі штампа.

В дійсності штамп може обертатися не тільки навколо осі  $Oy$ , а і навколо осі  $Ox$ . Тому, побудовано окрему математичну модель, яка описує процес переміщення штампа при перекоші в об'ємному деформованому стані.

Розроблена математична модель дає змогу визначити осідання в центрі штампа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, у випадку, коли штамп в момент перекошування буде обертатися як навколо осі  $Oy$ , так і навколо осі  $Ox$ , а кути повороту  $\alpha$  та  $\beta$  будуть значними.

**Ключові слова:** дорожня конструкція, статичні штампові випробування, датчики переміщень, перекошування штампа, осідання в центрі штампа.

### Перелік посилань

1. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Untersuchungen des dynamischen Lastplattenversuches mit dem Leichten Fallgewichtsgerät unter Verwendung der Randelement-methode. *Österreichisch Ingenieur - und Architekten-Zeitschrift*. W., 2005. № 4–5. P. 116.
2. ÖNORM B 4417 (1978): Erd- und Grundbau. Untersuchung von Böden. Lastplattenversuch. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
3. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 11.061 (1975): Grundlagen. Bodenphysikalische Prüfverfahren. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
4. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8.24 (1979): Erdarbeiten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
5. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8S.05.11 (1997): Oberbauarbeiten (ohne Deckarbeiten) Tragschichten. Ungebundene Tragschichten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
6. БН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. [Чинний від 2005-01-01]. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2004. 176 с.
7. DIN 18134 (1990): Baugrund. Versuche und Versuchsgeräte. Platten-druckversuch. Deutsches Institut für Normung.
8. Шуляк І. С. Математична модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях. Тези LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 16–18.05.2018 р.). Київ, 2018. С. 211.

МЕТОДИКА ОЦИФРУВАННЯ ІНЖЕНЕРНО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ КОМУНІКАЦІЙMETHODOLOGY OF DIGITALIZATION OF ENGINEERING AND CARTOGRAPHIC  
INFORMATION AT THE RECONSTRUCTION OF TRANSPORT COMMUNICATIONS

*Кузьмінець Микола Петрович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, e-mail: [kuzminetsmp@ukr.net](mailto:kuzminetsmp@ukr.net), +380983600812,*

*<https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>*



*Дубовенко Юрій Іванович, кандидат фізико-математ. наук, доцент Національний транспортний університет, викладач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, e-mail: [nemishayeve@ukr.net](mailto:nemishayeve@ukr.net), тел. +380665979384,*

*<https://orcid.org/0000-0002-8128-5989>.*

**Анотація.** В роботі описано процес введення в комп'ютер технічної растрової інформації із паперових інженерно-геологічних карт, якими супроводжується реконструкція транспортних комунікацій. Пропонується формалізувати процес автоматичного введення та оцифрування технічної інформації із використанням картографічної географічної інформаційної системи (ГІС) загального призначення MapInfo Professional. Показано, що технологія роботи по растровій підкладці дозволяє комбінувати як растрові, так і векторні шари. Така операція значно збільшує точність і швидкість оцифрування вхідних даних. Виявлено, що такий спосіб оцифрування не вимагає залучення зовнішніх спеціальних пристроїв для перенесення інформації із паперової основи у цифрову форму. Запропоновано використовувати для оцифрування нанесені на карту точкові об'єкти (станції, пункти вимірювань, спостережень і значення показників технічного моніторингу, тощо) а не самі ізолінії. Суттєвою перевагою є і використання правої прямокутної системи координат та суцільної координатної прив'язки точок.

**Ключові слова:** Оцифрування, картографія, геодезична основа, комп'ютеризація.

### Вступ

Основа практично всіх інженерних реконструкцій та побудов, теорій і гіпотез у різних областях транспортної галузі традиційно складають різноманітні картосхеми, графіки, діаграми та інженерні нариси. До них відносять карти архітектурні, схеми інженерних комунікацій, транспортних розв'язок, тощо. Окремим класом проходять карти та плани інженерно-геологічно основи: геологічні, тектонічні, різноманітні геофізичні, геохімічні, екологічні тощо.

Крім того, при обробці даних ряду інженерних вишукувань при будівництві та реконструкцій транспортних комунікацій та шляхів сполучень різного рівня, як у міській інфраструктурі, так і зовні маґаполісів, а також у супроводі геолого-геофізичних методів широко використовуються топографічні карти.

Зокрема, найчастіше основою для підготовки кондиційних інженерно-картографічних основ

для подальшого оформлення містобудівної та кадастрової документації щодо трансформації транспортних мереж нерідко використовують як високоточні топографічні дані, так і первинні матеріали геодезичного знімання. А для особливо важливих комунікацій, які відносять до комунікацій найвищого рангу, а також ті, що застосовуються для підтримання державної мережі спеціального зв'язку та для потреб військової галузі, використовують і дані, відзняті або отримані із карт сили тяжіння або інших навігаційних елементів подібного рівня.

Зупинимось окремо в своєму аналізі на інтерпретації карт, отриманих за даними гравіметрії. Так, раніше ці карти отримували шляхом проведення детальних гравіметричних знімів та аналізу й узагальнення масивів зведених журналів спостережень. На їх основі формували великорозмірні матриці спостережень у вигляді структурованих таблиць. Для елімінації похибок вимірювань та методу в ці матриці вводяться поправки за рельєф місцевості, а результати зйомки представляють у вигляді серії графіків зміни аномалій сили тяжіння за профілями спостережень і карт ізоаномал.

На карту наносять пункти спостережень і значення аномалій на опорних і рядових пунктах. В даній роботі описується технологія введення в комп'ютер інформації, представленої у вигляді реальної карти фактичного матеріалу за допомогою сучасного програмного забезпечення. Для аналізу ми обрали пропріетарну програму MapInfo Professional від фірми Pitney Bowes (США).

Цей пакет програмного забезпечення достатньо поширений у державних виробничих організаціях, які займаються організацією гравіметричних знімів та моніторингу, у тому числі для забезпечення потреб з реконструкції транспортної інфраструктури. Це програмне забезпечення має всі необхідні інструменти для створення планово-картографічних матеріалів і було спеціально спроектоване для обробки і аналізу інформації, що має просторову чи адресну прив'язку.

На сьогодні рельєф земної поверхні, на якій розташовані ті чи інші інженерні та/чи транспортні комунікації, доволі успішно апроксимується через розклад зовнішнього гравіполя, отриманого за даними супутникових вимірювань, в ряд за сферичними функціями і наступного перерахунку у відповідний лінійний функціонал. Такий сервіс за даними супутникових місій GRACE і CHAMP навіть доступний он лайн.

Очевидно, така картографічна інформація має меншу роздільну здатність, аніж паперова, яка має найпопулярніший масштаб 1:200000. На це є свої причини об'єктивного характеру. Щодо аналітичної апроксимації великого ареалу (йдеться про площу ділянки земної поверхні принаймні у 100 км<sup>2</sup>), то вона наштовхнулася на труднощі як чисельного плану, оскільки для такої території вже обов'язково слід врахувати сферичність Землі. Проте аналітичні вирази в сферичних координатах стають складні і нестійкі при чисельній реалізації. Тут доводиться вдаватись до процедур регуляризації розбіжних інтегралів, якими описуються відповідні математичні моделі. Проте аналіз таких моделей виходить за рамки нашого дослідження.

Крім того, виникають і труднощі методологічного плану у розробці картграфічного супроводу інженерно-будівельної документації, що означає необхідність оцифрувати великий обсяг картографічної інформації та звести в одне різні планшети, ув'язавши похибки склейки та оцифрування. Деякі грубі попередні теоретичні оцінки щодо реалізації такого функціоналу для найбільш популярних у транспортній галузі картографічних матеріалів дозволяють сподіватись на практичну доцільність такого порівняння.

Відомі процедури, алгоритми і програмні комплекси вводу зображень карт за допомогою дигітайзера і сканера з подальшим перетворенням введених даних у цифровий вигляд являються досить складними і трудомісткими. Наприклад, сучасний програмний комплекс введення карт за допомогою сканера [1] виконує наступні дії: 1) введення та економне кодування зображення; 2) згладжування контурів; 3) усунення перешкод; 4) виділення скелету зображення; 5) кусково-лінійна апроксимація векторизованого зображення; 6) виявлення відрізків ізоліній; 7) виявлення рамки та очистка зображення

зовні рамки; 8) простеження фрагментів ізоліній; 9) введення цифрових значень, які відповідають ізолініям; 10) формування вихідних результатів.

Для обробки та інтерпретації геофізичної інформації, представленої у вигляді карт фактичного матеріалу, необхідна автоматизація їх введення в комп'ютер. З появою, розвитком і дедалі більш значним використанням геоінформаційних систем – з'явилась можливість вирішити проблему більш точно і ефективно.

Найбільш близьким до способу, що пропонується, є спосіб [2] оцифрування (дігіталізації) сканованих зображень рельєфу землекористування, що включає сканування карти (плану) з нанесеними ізолініями рельєфу, запис отриманого зображення в файл у будь-якому графічному форматі, завантаження малюнку в програму Surfer, дігіталізацію виділеної карти шляхом проведення перехрестям курсору миші по горизонталі і фіксування лівою клавішею миші відхилення від прямої лінії (більш детально на згинах горизонталей, менш детально на прямих лініях), відкриття файлу з координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (координати  $x$  і  $y$  виставляються автоматично, висота  $z$  вводиться вручну), закриття і збереження файлу.

Недоліками відомого способу є наступне:

– оцифровуються горизонталі, що приводить до зменшення точності, що в свою чергу підвищує вірогідність отримання файлу з наближеними (а іноді й недостовірними) координатами точок і значеннями поля в цих точках;

– використовуються засоби програми Surfer, що приводить до подовження тривалості процесу оцифрування, неоднозначності кінцевого результату, оскільки два різні оператори, наприклад, прослідковуючи окрему ізолінію, отримують подібні, але все таки відмінні результати;

– трудомісткість та незручність процесу дігіталізації.

### Виклад основного матеріалу

Поставимо задачу створення способу оцифрування сканованих карт фактичного матеріалу засобами геоінформаційної системи "MapInfo", що забезпечить максимально можливу автоматизацію, достовірність, точність і мінімальний час введення графічної інформації в комп'ютер з використанням справжніх геодезичних чи умовних прямокутних координат.

Розв'язання поставленого завдання досягається шляхом використання в якості вихідних даних попередньо відсканованих карт фактичного матеріалу. В правій панелі вікна (рис. 1) приводиться фрагмент гравіметричної карти, де цифрами позначено: 1 – пункт (точка) спостереження; 2 – значення аномалії на пункті; 3 – ізолінія. На такі карти, крім номенклатури, масштабу, координатної сітки, внутрішньої і зовнішньої рамок та іншого, наносять також пункти спостережень і значення аномалій на цих пунктах. Ізолінії проводять шляхом інтерполяції по площині [3].

Для калібрування листа карти використовують точки кутів внутрішньої рамки. Для цього в будь-якій доступній програмі обчислення координат (наприклад, PHOTOMOD GeoCalculator 4.2) переводять геодезичні координати кутів рамки трапеції в прямокутну систему координат, що використовується на конкретному листі. Знання дійсних координат цих опорних точок в масштабі карти дозволить в подальшому автоматично визначити дійсні координати всіх інших оцифрованих точок.

Суть способу полягає в послідовному виконанні алгоритму [4, 5, 6], що складається з чотирьох етапів.

**1. Реєстрація растрового зображення.** Для того щоб геоінформаційна система показувала растрове зображення правильним чином, разом з векторними даними поверх нього, проводять реєстрацію зображення. Реєстрація здійснюють в діалоговому вікні "Реєстрація зображення", в якому визначають координати точок прив'язки, а також тип проекції растрового зображення.

Розглянемо процес реєстрації. Після запуску MapInfo виконують команду *Файл ► Відкрити таблицю*. В діалозі "Відкрити таблицю" з списку *Типи файлів* вибирають формат файлу *Растр* і назву файлу, який необхідно відкрити. Якщо натиснути кнопку *Відкрити*, то на моніторі з'явиться діалогове

вікно, в якому пропонується зробити вибір – чи реєструвати зображення, чи просто показати. При натисканні кнопки *Реєструвати* з'являється вікно "Реєстрація зображення", в нижній частині якого буде показано початкове зображення. Задають проекцію сканованої карти. Вказують на один з кутів внутрішньої рамки. У вікні "Додати контрольну точку" задають координати опорної точки в прямокутній системі координат. Аналогічно вводять координати ще трьох точок (контрольні точки на зображенні автоматично нумеруються). Для збереження виконаної роботи використовують команду *Файл ► Зберегти Робочий Набір*. Для чого у відповідному вікні вказують файл робочого набору і каталог, де він буде збережений. Після реєстрації карти у верхній частині вікна "Реєстрація зображення" повинні бути вказані координати чотирьох контрольних точок.

**2. Векторизація.** Комп'ютерна карта складається з шарів, які можна уявити собі як прозорі плівки, що лежать одна на одній. Кожний шар містить різні види інформації: області, точки, лінії, тексти, а всі вони разом складають карту. Для управління шарами використовують діалог "Управління шарами", що запускається з панелі "Операції", яка позначена цифрою 4 на рис. 1 і використовується для вибору інструментів, виклику діалогів і т.д. Будь-яке вікно карти містить косметичний шар – пустий шар, який лежить поверх всіх інших шарів. Для оцифровування точкових об'єктів їх наносять на косметичний шар карти, тобто виконують наступні дії.

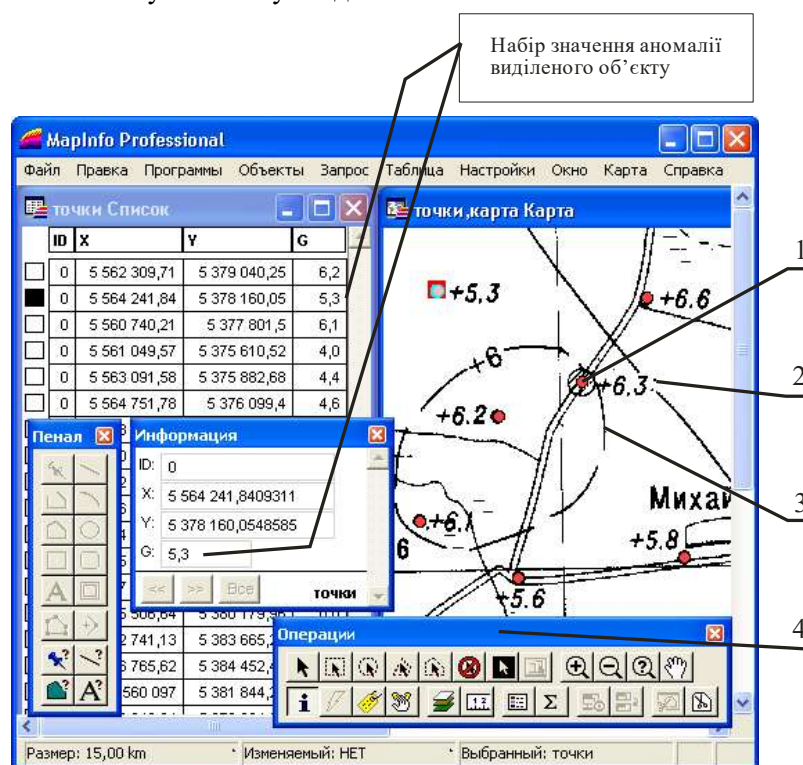


Рисунок 1 – Внесення поправок і трасування первісного топоплану в програмі MapInfo Professional  
Figure 1 - Amendments and tracing of the original topoplane in the program MapInfo Professional

Відкривають робочий набір і вмикають режим *Вузли*. Виконують команду *Карта ► Управління шарами*, вибирають косметичний шар із списку і встановлюють галочку *Змінний*. Виконують команду *Настроювання ► Стиль Символів*. З'являється діалог, в якому змінюють символ, шрифт, колір, розмір. Цей стиль оформлення застосовують до всіх точкових об'єктів, які наносять на косметичний шар. Вибирають інструмент малювання *Символ*, наводять курсор на те місце карти, де потрібно помістити точковий об'єкт, і натискають ліву кнопку миші. При цьому нанесений об'єкт з'являється на фоні растрового зображення. Після нанесення всіх точок зберігають створені векторні об'єкти в існуючій або новій таблиці, тобто виконують команду *Карта ► Зберегти косметику*.

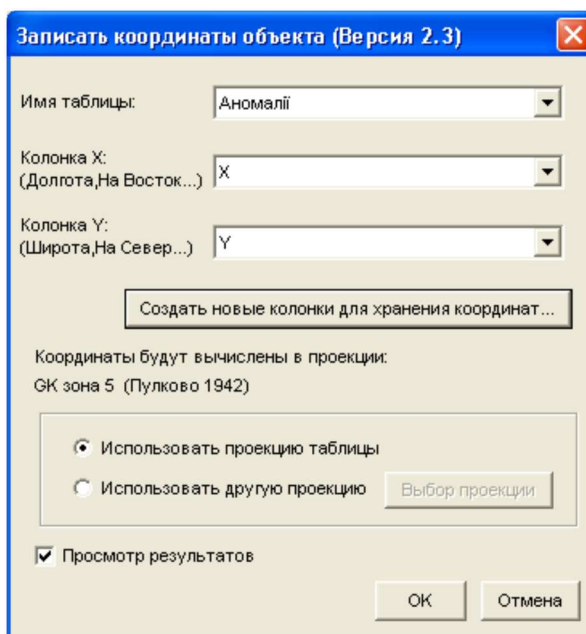


Рисунок 2 – Запис поточних координат оцифрованого об'єкта у файл оцифрування  
Figure 2 - Recording of the digitized object current coordinates to the digitization file

Далі використовують програму "Записати координати об'єкта" (рис. 2), яка є програмою MapBasic і постачається з MapInfo Professional; автоматично заповнюють дві колонки таблиці значеннями координат  $X$  і  $Y$  в заданій проекції та перебудовують структуру таблиці.

**3. Введення цифрових значень, які відповідають пунктам спостереження.** Кожній точці необхідно привласнити відповідні числові значення. Нижче коротко описані два можливі способи, як це можна здійснити.

Реалізацію першого способу здійснюють у такій послідовності:

1) Відкривають таблицю у вигляді карти і натискають кнопку *Інформація* на панелі 4. Курсор при попаданні у вікно *Карти* набуде форми хрестика.

2) Вказують на пункт і натискають ліву кнопку миші. Якщо вибрано єдиний об'єкт, то з'явиться вікно "Інформація" (див. рис. 1).

3) Переводять курсор в поле  $G$  і набирають відповідне значення аномалії. Для збереження змін виконують команду *Файл ► Зберегти таблицю*.

Розглянемо другий спосіб, в якому виконують наступні дії:

1) Відкривають таблицю у вигляді карти і списку та розташовують вікна так, як це зображено на рис. 1.

2) Виділяють в правому вікні об'єкт, а в лівому набирають значення аномалії.

3) Повторюють попередній пункт для решти точок і зберігають таблицю.

Суттєво, що в цьому випадку введення значень точковий об'єкт виділяється одночасно як зліва, так і праворуч, завдяки чому не буде пропущена жодна точка.

**4. Експорт у формат ASCII.** MapInfo дозволяє експортувати табличні дані в ASCII-файли з роздільниками. При записі файлу у форматі ASCII геоінформаційна система показує діалогове вікно "ASCII-текст", в якому вибирають символ-роздільник. Отриманий файл переглядають в текстовому редакторі і завантажують в програмні комплекси, призначені для інтерпретації геофізичних полів.

### Висновок

Таким чином запропонований спосіб дозволяє: значно збільшити точність і ефективність оцифрування геофізичних карт; забезпечує максимально можливу автоматизацію, достовірність, простоту і зручність введення картографічної інформації в комп'ютер за допомогою сучасних, зрозумілих у використанні інструментів; істотно полегшує та прискорює розв'язання різних задач, які виникають в науках про Землю.

В результаті розв'язку формується текстовий файл з характеристиками вхідних і вихідних даних, які ілюструє таблиця на наступному слайді, і, власне, самими коефіцієнтами аналітичної апроксимації у форматі, придатному для подальших операцій в будь-якому пакеті наукової графіки. Порівняння початкового поля та його аналітичної апроксимації вказує на дуже гарну відповідність: ми не стали наводити різницевого поля, оскільки воно менше за систематичну похибку вимірювань.

Це дає змогу зробити висновок про абсолютну працездатність процедури аналітичної апроксимації поля, принаймні, в локальному варіанті та для умов горизонтально-шаруватих середовищ

### Перелік посилань

1. Старостенко В. И., Мацелло В. В., Аксак И. Н., Кулеш В. А., Легостаева О. В., Егорова Т. П. Автоматизация ввода в компьютер изображений геофизических карт и построение их цифровых моделей // Геофиз. журн. — 1997. — **19**, № 1. — С. 3—13.
2. Третьяк А. М., Другак В. М., Романський М. М., Музика А. О. Землевпорядне проектування землеволодінь та землекористувань засобами програм MapInfo та Surfer. — Київ: ТОВ ЦЗРУ, 2003. — 94 с.
3. *Гравиразведка: Справочник геофизика* / Под ред. Е. А. Мудрецовою, К. Е. Веселова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1990. — 607 с.
4. Якимчик А. И. Технология оцифровки карт фактического материала на основе программного обеспечения MapInfo Professional и CorelDRAW // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 3. — С. 112—124.
5. Патент на корисну модель № 46461, МПК G01V 7/00, G01V 3/00. Україна, ІФ НАНУ. Спосіб оцифрування сканованих карт фактичного матеріалу засобами геоінформаційної системи "MapInfo" / А. І. Якимчик. Опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
6. Якимчик А. И. Автоматизированный ввод картографической информации средствами ГИС "MapInfo" // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского, Москва, 25 – 29 января 2010 г. — М.: ИФЗ РАН, 2010. — С. 410—413.
7. Трубопровідний транспорт газу/Ковалко М.П., Грудз В.Я., Михалків В.Б. та ін. За ред. М.П. Ковалка. — К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. -600 с.
8. Діак І.В., Осінчук З.П. Газова промисловість України на зламі століть /Л.М, Карп (відп. ред.). — Івано-Франківськ: Лілея НВ, 2000. — 231 с.

### METHODOLOGY OF DIGITALIZATION OF ENGINEERING AND CARTOGRAPHIC INFORMATION AT THE RECONSTRUCTION OF TRANSPORT COMMUNICATIONS

**Kuzminets Nikolai P.**, Doctor of Engineering Sciences, associate professor, National Transport University, chairman at Dept. of computer, engineering drawing and design, e-mail: [kuzminecmp@ukr.net](mailto:kuzminecmp@ukr.net), phone +380442849713, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk street 42, office 705. <http://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

**Dubovenko Yurii I.**, Doctor of Philosophy in Physics and Maths, associate professor, National Transport University, senior teacher at Dept. of computer, engineering drawing and design, e-mail: [nemishayeve@ukr.net](mailto:nemishayeve@ukr.net), phone +380665979384, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk street 42, office 709. <http://orcid.org/0000-0002-8128-5989>

**Abstract.** The paper describes the process of entering into the computer of the technical raster information from paper engineering and geological maps, which accompanies the reconstruction of transport communications. It is proposed to formalize the process of the automatic input and the digitization of the technical information using the proprietary software MapInfo Professional, which is a general-purpose mapping geographic information system (GIS). It is shown that the technology of working at a raster substrate allows us to combine both raster and vector layers of initial engineering map. This operation significantly increases the accuracy and speed of digitization of the input data. It has been found that such a method of the digitization does not require the involvement of the external special devices in order to transfer the needed information from the paper base to digital form one. It is proposed to use the point-based objects on maps (as the stations, the measurement points, the observations and the values of technical monitoring indicators, etc.) for digitization procedure, rather than the isolines themselves. A significant advantage of the proposed procedure there is the use of the right rectangular coordinate system and the solid coordinate point binding before the vectorization of mapping objects.

**Keywords:** digitization, cartography, geodetic basis, computerization.

### References

1. Starostenko V. I., Matsello V. V., Aksak I. N., Kulesh V. A., Legostayeva O. V., Yegorova T. P. Avtomatizatsiya vvoda v komp'yuter izobrazheniy geofizicheskikh kart i postroyeniye ikh tsifrovyykh modeley // Geofiz. zhurn. — 1997. — 19, № 1. — S. 3—13.
2. Tretyak A. M., Drugak V. M., Romans'kiy M. M., Muzika A. O. Zemlevporyadne proye-ktuvannya zemlevolodín' ta zemlekoristuvan' zasobami program MapInfo ta Surfer. — Kíiv: TOV TSZRU, 2003. — 94 s.
3. Gravirazvedka: Spravochnik geofizika / Pod red. Ye. A. Mudretsovoy, K. Ye. Veselova. — 2-ye izd., pererab. i dop. — M.: Nedra, 1990. — 607 s.
4. Yakimchik A. I. Tekhnologiya otsifrovki kart fakticheskogo materiala na osnove programmnoho obespecheniya MapInfo Professional i CorelDRAW // Geofiz. zhurn. — 2010. — 32, № 3. — S. 112—124.
5. Patent na korisnu model' № 46461, MPK G01V 7/00, G01V 3/00. Ukraína, ÍGF NANU. Sposíb otsifrovuvannya skanovanikh kart faktichnogo materialu zasobami geoínformatsiy-noí sistemi "MapInfo" / A. Í. Yakimchik. Opubl. 25.12.2009, Byul. № 24.
6. Yakimchik A. I. Avtomatizirovanny vvod kartograficheskoy informatsii sredst-vami GIS "MapInfo" // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravita-tсионnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: Materialy 37-y sessii Mezhdunarodnogo seminará im. D. G. Uspenskogo, Moskva, 25 – 29 yanvarya 2010 g. — M.: IFZ RAN, 2010. — S. 410—413.
7. Truboprovídníy transport gazu/Kovalko M.P., Grudz V.YA., Mikhalkív V.B. ta ín. Za red. M.P. Kovalka. – K.: Agentstvo z ratsíonal'nogo vikoristannya yenergíi ta yekologíi, 2002. -600 s.
8. Díyak Í.V., Osínchuk Z.P. Gazova promislóvíst' Ukraíni na zlamí stolít' /Í.M, Karp (vídp. red.). – Ívano-Frankívs'k: Líleya NV, 2000. – 231 s.

ГЕОДЕЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

GEODESIC TECHNOLOGIES FOR SPATIAL DATA COLLECTING FOR HIGHWAYS DIAGNOSTICS AND CERTIFICATION



*Ляшенко Дмитро Олексійович, доктор географічних наук, доцент, ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, професор кафедри геоінформатики, e-mail: [uageog@gmail.com](mailto:uageog@gmail.com), тел. +380673235684,*

*<https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>*



*Павлюк Дмитро Олександрович, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, професор, [ntupavlukd@gmail.com](mailto:ntupavlukd@gmail.com), +380672099378,*

*<https://orcid.org/0000-0003-4493-4238>*

**Анотація.** У статті розглянуті питання геодезичного забезпечення діагностики та паспортизації автомобільних доріг. Визначена роль геодезичних робіт у підвищенні ефективності системи управління якістю в дорожньо-будівельних організаціях України.

**Ключові слова:** просторові дані, геодезія, геодезичний моніторинг, дорожнє будівництво, діагностика автомобільних доріг, паспортизація автомобільних доріг.

**Вступ.** Розвиток мережі доріг та дорожньої інфраструктури в Україні передбачає облік, оцінювання автомобільних доріг та будівництво нових сучасних автомагістралей із високими транспортно-експлуатаційними характеристиками. Зростання рівня інформаційного забезпечення управління у транспортній галузі є надзвичайно актуальним завданням, вирішення якого необхідне для ля інтеграції України у Європейську спільноту.

**Мета і методи.** Нині основними засобами збирання даних про стан автомобільних доріг є інвентаризація та паспортизація.

Інвентаризація – одночасний кількісний облік дорожніх споруд з оцінкою їх стану, який здійснюється регулярно 1 раз на 8...10 років. В ході інвентаризації встановлюють або уточнюють геометричні параметри доріг, тип і стан покриття, його міцність, а також здійснюють інвентаризацію дорожніх споруд (мостів, шляхопроводів, труб, службових і технічних будинків та споруд тощо). Згідно з нормативами, інвентаризація нових доріг або доріг після реконструкції провадиться не пізніше ніж через півроку після затвердження актів державної приймальної комісії. Натомість паспортизація – систематичний технічний облік стану дороги і дорожніх споруд. Паспорт – це найважливіший документ технічного обліку даних щодо дороги, на підставі якого визначають норми витрат на ремонт і утримання, техніко-експлуатаційні показники. Паспорт містить: схему дороги (масштаб довільний) із

прив'язкою до кілометражу і зазначеними перехрестями, розв'язками, кордонами адміністративних районів. В інші розділи заносять усі загальні відомості про дорогу, економічні характеристики, статистичні дані про склад руху, технічні дані на окремі споруди й елементи (земляне полотно, проїзна частина тощо), дані про грошові витрати на ремонт, утримання і реконструкцію доріг з моменту введення дороги в експлуатацію (поточний ремонт не зазначається).

В Україні існують проблеми геоінформаційного забезпечення автодорожнього комплексу. В системі управління станом покриття автомобільних доріг [6] враховуються дані, наведені на рисунку 1.

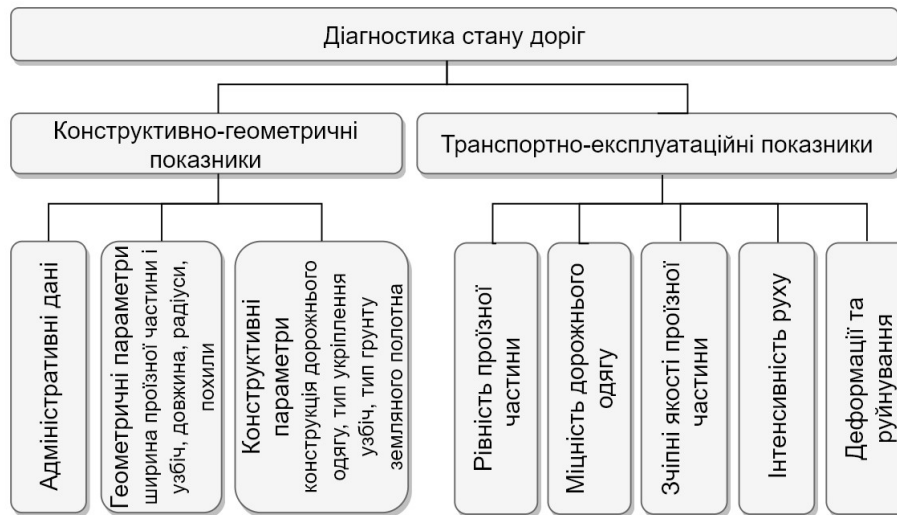


Рисунок 1 – Склад даних, що збираються для завдань управління станом покриття автомобільних доріг.

Figure 1 – The data composition collected for the tasks of the state of highways coverage control.

Геометричні параметри беруться з технічного паспорту автомобільної дороги [7], при необхідності проводять вимірювання геометричних елементів інструментально на місцевості. До цих параметрів відносяться: 1) показники системи конструктивно-геометричних показників: геометричні параметри дороги (як правило, визначена чи приведена середня ширина, довжина, радіуси, значення похилів та ін.) і конструктивні параметри проїзної частини;

2) рівність проїзної частини;

3) систему показників деформацій (або руйнувань), наприклад, проломів, тріщин, зсувів, вибоїв, часткового або повного руйнування, пошкоджень [6];

Нажаль, вирішення наукових та практичних задач щодо вимірювання конструктивно-геометричних показників та деформацій в Україні ведеться епізодично розрізненими організаціями, що призводить до послаблення ефективності роботи, зниження надійності та якості будівництва і, як наслідок, до підвищення аварійності.

Геометрична точність визначення цих параметрів на практиці є надзвичайно низькою. Відсутні технічні регламенти щодо координатного забезпечення інвентаризації та паспортизації автомобільних доріг. Як уже зазначалося, картографічні матеріали паспорту дороги складаються у довільному масштабі. Прив'язка технічних даних на окремі споруди й елементи (земляне полотно, проїзна частина тощо) здійснюється до кілометражу з недостатньою точністю.

Рекомендації, щодо використання геоінформаційних систем розроблені Державним підприємством - українським державним інститутом з проектування об'єктів дорожнього господарства мають надто загальний характер та містять ряд дискусійних положень [8].

Зокрема сумнівним є можливість опису положення всіх просторових об'єктів для всіх автомобільних доріг України у системі прямокутних тривимірних координатах через кулястість Землі. В документі відзначається необхідність Perezбереження геоінформації у базі даних при зміні картографічних проекцій, але не вказується вид проекцій, необхідна точність просторових даних.

Викладені положення зумовлюють необхідність розроблення нових підходів до реалізації завдань координатного забезпечення та збирання просторових даних для діагностики, інвентаризації та паспортизації доріг з урахуванням новітніх досягнень науки та геодезичного виробництва.

Метою статті є визначення головних особливостей геодезичних технологій збирання просторових даних для діагностики та паспортизації автомобільних доріг.

Реалізація сформульованої мети передбачає вирішення таких завдань:

- вивчення вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування геодезичних технологій інвентаризації, паспортизації та моніторингу автомобільних доріг;
- визначення рівнів та організації безперервного геотехнічного моніторингу автомобільних доріг та дорожньої інфраструктури;
- визначення напрямів використання сучасних геодезичних технологій для дослідження геометричних параметрів автомобільних доріг.

**Результати і пояснення.** Потребує узагальнення досвід використання різних технологій для інженерного геодезичного моніторингу об'єктів транспортної інфраструктури.

Вітчизняні фахівці наголошують на актуальності створення автоматизованих систем деформаційного моніторингу мостів [9]. Колектив авторів здійснює обґрунтування створення нової інтелектуальної інформаційно-комунікаційної технології спостереження за станом автомобільних доріг [1]. Слід позитивно охарактеризувати ініціативу колег щодо розроблення рекомендацій по застосуванню геоінформаційних технологій корпорації Autodesk в дорожньому господарстві [8].

Закордонні науковці активно використовують технології геодезії та геоматики у збиранні, обробленні та інтерпретації результатів польових випробувань щодо геометричних характеристик автомобільних доріг, мостів.

Нині в більшості іноземних країн запроваджуються технології автоматизації процесів збирання та оброблення даних про стан автомобільних доріг, зокрема шляхом використання електронних геодезичних приладів (електронних тахеометрів, цифрових нівелірів, ГНСС-приймачів, лазерних сканерів, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як показано на рисунку 2.



Рисунок 2 – Різні види обладнання, що використовуються для визначення параметрів автомобільних доріг у Швеції [17].

Figure 2 – Various types of equipment used to determine the parameters of highways in Sweden [17].

Широко розповсюджена методика спільного застосування акселерометрів з приймачами сигналів навігаційних супутників GPS та (BeiDou navigation System - BDS), які монтуються на автомобілі та велосипеди [21] та збирають просторові дані щодо нерівності поверхні автомобільних доріг.

Китайські фахівці повідомляють про розроблення і використання приладу, що комбінує акселерометри з GPS для отримання просторово координованих даних щодо якості дорожнього одягу [12, 13].

Японські колеги використовують вимірювання міжнародного індексу рівності (IRI) для оцінки громадських доріг у містах префектури Хоккайдо і застосовують географічну інформаційну систему ArcGIS для упорядкування баз просторових даних і ефективного способу їхньої візуалізації на цифрових картах доріг приведені на рисунку 3 [10].

Широко застосовуються технології дистанційного зондування Землі. Колектив учених з США, Японії та Індонезії застосував супутниковий радіолокаційний моніторинг (PSI-SAR – радіолокацію з синтезованою апаратурою) для виявлення та вимірювання зміщень автомобільних доріг та елементів рельєфу земної поверхні внаслідок зсувів на території Західної Суматри (Індонезія). Геокодовані геозображення контурів деформації земної поверхні були накладені на фотограмметричну модель території дослідження [15].

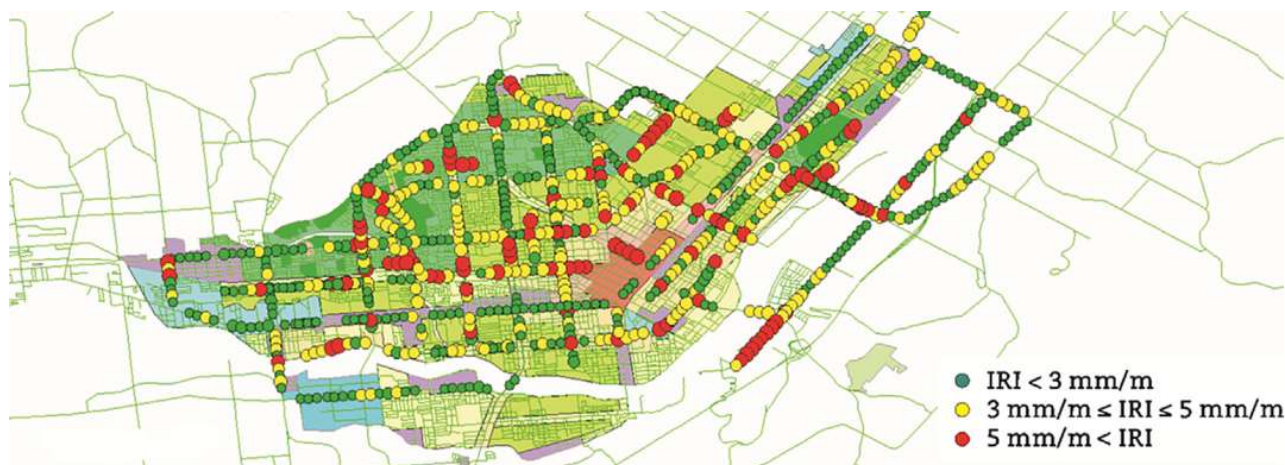


Рисунок 3 – Візуалізація індексу рівності доріг за допомогою програмного забезпечення ArcGIS [10].

Figure 3 – Visualization of International Roughness Index using ArcGIS software [10].

Окрема тема досліджень закордонних колег полягає у розробленні систем автоматичного моніторингу та визначенні деформації мостових переходів у реальному часі за допомогою супутникових приймачів BDS та GPS [11, 19, 20].

Заслуговує на увагу розробки стосовно методології проектування підземних мереж у довгих тунелях за допомогою гіротеодолітів. Зокрема слід відзначити роботу іспанських колег, присвячену геодезичному забезпеченню будівництва високошвидкісних залізничних тунелів в Іспанії [18].

Слід відзначити ряд публікацій, присвячених застосуванню мобільного лазерного сканування для створення інформаційних продуктів, які служать для картографування паводків, планування стоку вод з поверхні та інвентаризації доріг [14, 16].

Розвиток сучасного транспорту і інфраструктури неможливий без застосування неперервного геотехнічного моніторингу. Слід визначити такі територіальні рівні моніторингу:

- локальний (частіше наземний або геодезичний);

- регіональний (повітряний або космічний);
- глобальний (космічний і космічний з наземної підтримкою).

Комплексний моніторинг автомобільних доріг також базується на використанні великої кількості фізичних, математичних, інформаційних, картографічних і цифрових моделей. Це обумовлює необхідність узагальнення досвіду моніторингу та подальшого його дослідження як нового наукового напрямку.

Дані про якісний стан автомобільних доріг повинні використовуватися для вирішення таких завдань:

- стратегічного довгострокового планування (знання стану всієї дорожньої мережі);
- моніторингу об'єктів та проектів (поточний збір даних при будівництві, реконструкції та обслуговуванні доріг);
- плануванню розвитку дорожньої мережі;
- контролю якості виконання робіт підрядниками.

Комплекс робіт з діагностики та моніторингу автомобільних доріг є складовими системи управління дорожнім господарством і перевезеннями і складаються з таких етапів: збирання польових даних, їх аналіз та прийняття управлінських рішень (рис.4) у сферах безпеки, комфорту водіїв, тривалості майбутньої експлуатації доріг, стану навколишнього природного середовища.

Відомо, що геотехнічний моніторинг споруд, - це комплекс заходів, які забезпечують регулярне спостереження (моніторинг) за технічним станом територій та ґрунтових мас з метою попередження негативних явищ, що впливають на цілісність і надійність об'єктів спостереження [3].

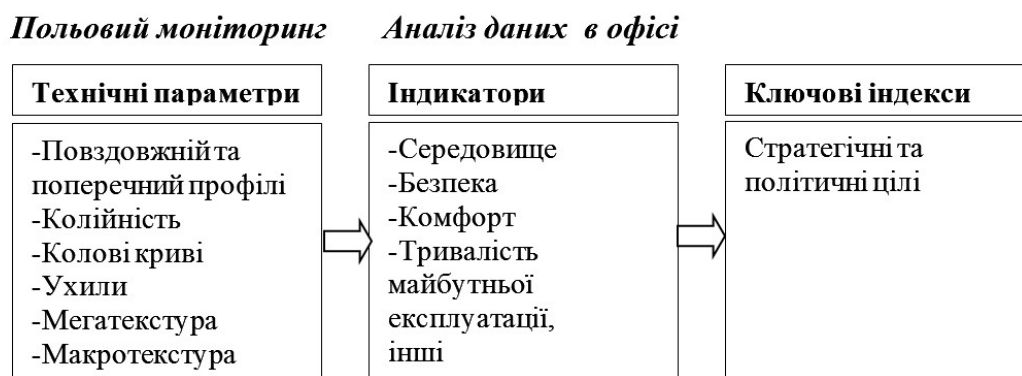


Рисунок 4 – Рівні використання технічних параметрів та показників моніторингу для управління дорожнім господарством.

Figure 4 – Levels of technical parameters and monitoring indicators usage for road management.

У розвинутих країнах створюються системи, які в автоматизованому режимі повідомляють операторів, про структурні деформації будівель і споруд (мостів, тунелів, насипів, відкосів, інших інженерних споруд та їхніх частин).

Склад і обсяги робіт із діагностики автомобільних доріг залежать від виду та періодичності обстеження. Зазвичай враховуються наступні показники:

- геометричні параметри;
- характеристики міцності дорожнього одягу;
- рівність і зчипні якості покриття;
- стан проїжджої частини й узбіч;
- стан водовідвідних споруд;
- стан елементів інженерного облаштування дороги.

Проведений аналіз існуючих методів визначення геометричних параметрів автомобільних доріг в Україні показав, що головними їх недоліками є такі: низька продуктивність випробувань внаслідок використання ручної праці оператора, значна вага та громіздкість обладнання, небезпека потрапляння оператора під колеса дорожньо-будівельної техніки чи рухомого транспорту та інші.

Таблиця 1 – Сучасні методи дослідження геометричних параметрів автомобільних доріг  
Table 1 – Modern methods of highways geometrical parameters studying

Назва методу	Геометричні параметри дороги
Високоточне нівелювання	Ширина проїзної частини,
ГНСС-вимірювання	Кількість смуг руху та ширина кожної смуги,
Лінійно-кутові вимірювання	Ширина узбіч,
Наземне лазерне сканування	Поздовжні та поперечні ухили;
Стереофотограмметричний	Рівність дорожнього покриття;
	Глибина та ширина колії,
	Висота та ширина випору

Методи та прилади для геометричного контролю структурних деформацій поділяються на дві групи відповідно до двох основних груп професіоналів, які використовують ці методи [11]:

1) Геодезичні – технології глобальних систем супутникового позиціонування (ГНСС), дистанційні (БПЛА, літаки, штучні супутники Землі) фотограмметричні, наземні геодезичні вимірювання (за допомогою теодолітів, гіротеодолітів, нівелірів, тахеометрів, лазерних сканерів тощо).

2) Геотехнічні структурні вимірювання локальних деформацій з використанням датчиків нахилу, деформаційних датчиків, екстензометрів<sup>1</sup>, лазерних датчиків тощо [4].

Кожен спосіб вимірювань має свої переваги та недоліки. Метод лазерного вимірювання відстані та роботи з геодезичними інструментами залежить від погодних умов (туман, дощ, імла). Геотехнічні структурні вимірювання часто супроводжуються зупинкою руху транспорту на ділянках досліджуваних доріг, що не завжди виправдане з економічних міркувань.

Геотехнічні методи найкраще підходять для дослідження об'єктів невеликої протяжності, при чому амплітуда зміщень і деформацій незначні. Отже, для таких інженерних споруд як автомобільні дороги, мости та тунелі ці методи мають обмежене використання.

Перевагою геодезичних спостережень, що виконуються шляхом побудови мережі точок та вимірювань кутів і відстаней, є те, що вони забезпечують надмірні спостереження, що дозволяє оцінити їх точність та виявити похибки (грубі, випадкові та систематичні).

В результаті геодезичних спостережень отримуються просторові дані (ПД), які слід визначити як набори даних або бази даних про об'єкти реального світу, що мають певне місцеположення на поверхні Землі, зафіксоване у встановленій системі просторово-часових координат [5]. Нині якісні просторові дані є невід'ємною частиною видів діяльності, пов'язаних з будівництвом, дослідженням та експлуатацією інженерної інфраструктури.

Останні досягнення в галузі комп'ютерних технологій та геоматики дозволили використовувати точне геодезичне обладнання для вимірювання та контролю деформації інженерних споруд, зокрема автомобільних доріг. Поява сучасних тахеометрів дозволяє працювати без кутникових відбивачів. Технології супутникового позиціонування підвищують автономність вимірювання координат об'єктів.

Види і методи спостережень за деформаціями споруд обираються таким чином, щоб їх можна було виразити в показниках відповідного критерію безпеки. Для кожного виду і методу спостережень визначаються вимірювані параметри, форма їх представлення і необхідна точність вимірювань. При

<sup>1</sup> Пристрій, який дозволяє визначити ступінь деформації твердих тіл.

виборі методів і засобів вимірювань враховується необхідність найбільш повного виключення систематичних похибок вимірювань.

Система спостережень (моніторингу) найчастіше складається з кількох блоків [3]:

- система спостережень за станом навколишнього масиву ґрунту за межами огорожувальних конструкцій об'єкта;

- система спостережень за деформаціями конструкцій споруджуваного об'єкта;

- система спостережень за існуючими об'єктами, розташованими в зоні впливу будівництва.

Звичайно, геодезичне моделювання об'єкта (і його оточення) означає закріплення на місцевості мережі дискретних точок таким чином, щоб точки найкращим чином характеризували об'єкт, а також ряду точок що представляють рухи і деформації об'єкта. Це означає, що моделюються як геометрія об'єкта але і процес деформації. Спостереження за геометричними характеристиками в певні проміжки часу, дозволяє охарактеризувати рухи об'єкту (осідання, просідання, набухання і усадки) [2]. Це дозволяє контролювати моделі, які описують статичні, кінематичні та динамічні параметри доріг.

Перспективним є застосування разом із статичними також і кінематичних моделі деформацій, які дозволяють оцінити швидкість і навіть прискорення руху точок контролю.

**Висновки та рекомендації.** Підвищення якості автомобільних доріг, мостів та тунелів пов'язане з оперативним збиранням просторових даних для завдань діагностики та прийняття на їх основі обґрунтованих управлінських рішень. Результат роботи визначається повнотою, якістю та своєчасністю отримання просторових даних щодо геометричних параметрів доріг від геодезистів та інших якісних даних про стан доріг від інших фахівців. Будівельна організація в процесі планування, здійснення та контролю будівельних процесів на всіх стадіях життєвого циклу автомобільної дороги для забезпечення відповідності її вимогам якості потребує цілий ряд геометричних параметрів (поздовжні та поперечні ухили; рівність дорожнього покриття; глибина та ширина колії тощо).

Здійснений аналіз засвідчив, що нині отримання цих параметрів найзручніше здійснювати за допомогою новітніх геодезичних технологій: високоточного нівелювання, ГНСС-вимірювань, лінійно-кутових вимірювань, наземного лазерного сканування, стереофотограмметричного.

Оперативність, швидкість та якість просторових даних, отриманих за допомогою новітніх технологій призведе до підвищення конкурентоспроможності будівельної організації та підвищенню безпеки водіїв.

### Перелік посилань

1. Алексієв В.О. [и др.]. Інтерактивний моніторинг автомобільних доріг : монографія / В.О. Алексієв, О.П. Алексієв, А.А. Видмиш, В.О. Хабаров, Вінниця: ВНТУ, 2012. 144 с.
2. Баран П.І. Інженерна геодезія : Монографія / П.І. Баран, Київ: Віпол, 2012. 618 с.
3. Дишлик А., Марков Е., Кожан Е. Комплексний геотехнічний моніторинг як основа збереження пам'яток архітектури // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2010. № II (20). С. 135–141.
4. Зацаринный А.В. Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений / А.В. Зацаринный, М.: Недра, 1976. 247 с.
5. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Горковчук М.В. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних // Вісник геодезії та картографії. 2012. № 4. С. 33–42.
6. Рибіцький Л.Л. [и др.]. Система управління станом покриттів автомобільних доріг. Інструкція до формування банків даних для Системи за результатами натурних обстежень автомобільних доріг / Л.Л. Рибіцький, С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ, Українська державна корпорація "Укравтодор";, 2001. 26 с.

7. Сизоненко В. [и др.]. Паспорт автомобільної дороги. СОУ 45.2-00018112 - 038 : 2009 / В. Сизоненко, С. Галімський., Л. Рибіцький, М. Гуков, К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. 76 с.
8. Сизоненко В.В., Рибіцький Л.Л. Рекомендації по застосуванню геоінформаційних технологій в дорожньому господарстві. Р В.3.1-218-05416892-735:2008. / В.В. Сизоненко, Л.Л. Рибіцький, К.:, 2008. 30 с.
9. Староверов В., Адаменко О. Геодезичний моніторинг мостів // *Geodesy, architecture & construction 2011*” (GAC-2011), 24-26 November 2011. С. 168–171.
10. Abulizi N. [и др.]. Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2016. № 5 (3). С. 398–411.
11. Beshr A.A.E.-W. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques // *Engineering*. 2015. № 08 (07). С. 488–498.
12. Du Y. [и др.]. Measurement of International Roughness Index by Using Z -Axis Accelerometers and GPS // *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. (2014). С. 1–10.
13. Kongyang Chen [и др.]. Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, 2011. 1032–1037 с.
14. Kumar P. [и др.]. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. (32). С. 125–137.
15. Razi P. [и др.]. 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV // *IEEE Access*. 2018. (6). С. 12395–12404.
16. Shams A. [и др.]. Highway Cross-Slope Measurement Using Mobile LiDAR // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2018. С. 036119811875637.
17. Sjögren L. Overall quality management of road condition monitoring: a case study / L. Sjögren, 2015. 21 с.
18. Velasco-Gómez J. [и др.]. Use of the gyrotheodolite in underground networks of long high-speed railway tunnels // *Survey Review*. 2016. № 350 (48). С. 329–337.
19. Xi R. [и др.]. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques // *Measurement*. 2018. (120). С. 128–139.
20. Yang J. [и др.]. Automatic deformation monitoring for large span bridge based on multi-constellation BDS and GPS system // *International Journal of Robotics and Automation*. 2018. № 5 (33).
21. Zang K. [и др.]. Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors on Bicycle-Mounted Smartphones // *Sensors*. 2018. № 3 (18). С. 914.

### GEODESIC TECHNOLOGIES FOR SPATIAL DATA COLLECTING FOR HIGHWAYS DIAGNOSTICS AND CERTIFICATION

**Liashenko Dmytro Oleksiiiovych**, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of Road Design, Geodesy and Land Management Department, e-mail: [uageog@gmail.com](mailto:uageog@gmail.com), +380673235684, <https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>.

**Pavlyuk D.O.**, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, postgraduate student, Dr.Tech. Sci., professor. <https://orcid.org/0000-0003-4493-4238>

**Summary.** The article is devoted to geodetic supply of highways diagnostics and certification. The role of geodetic techniques for improving the efficiency of the quality management system in road construction organizations of Ukraine is determined.

**Key words:** spatial data, geodesy, geodetic monitoring, road construction, diagnostics of highways, certification of highways.

**References**

1. Aleksiiev V.O. [and etc]. Interaktyvnyi monitorynh avtomobilnykh dorih : monohrafiia / V.O. Aleksiiev, O.P. Aleksiiev, A.A. Vydmysh, V.O. Khabarov, Vinnytsia: VNTU, 2012. 144 c.
2. Baran P.I. Inzhenerna heodeziia : Monohrafiia / P.I. Baran, Kyiv: Vipol, 2012. 618 c.
3. Dyshlyk A., Markov E., Kozhan E. Kompleksnyi heotekhnichniy monitorynh yak osnova zberezhennia pamiatok arkhitektury // Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. 2010. № II (20). C. 135–141.
4. Zatsarynnui A.V. Avtomatyzatsiia vusokotchnukh ynzhenerno-heodezycheskykh yzmerenyi / A.V. Zatsarynnui, M.: Nedra, 1976. 247 c.
5. Karpinskyi Yu.O., Liashchenko A.A., Horkovchuk M.V. Kontseptualni zasady otsiniuvannia ta zabezpechennia yakosti heoprostorovykh danykh // Visnyk heodezii ta kartohrafii. 2012. № 4. C. 33–42.
6. Rybitskyi L.L. [and etc]. Systema upravlinnia stanom pokryttiv avtomobilnykh dorih. Instruktisiia do formuvannia bankiv danykh dlia Systemy za rezultatamy naturnykh obstezhen avtomobilnykh dorih / L.L. Rybitskyi, S.S. Kyzyma, O.P. Kanin, M.M. Lykhostup, Ukrainska derzhavna korporatsiia “Ukravtodor”., 2001. 26 c.
7. Syzonenko V. [and etc]. Pasport avtomobilnoi dorohy. SOU 45.2-00018112 - 038 : 2009 / V. Syzonenko, S. Halimskyi., L. Rybitskyi, M. Hukov, K.: Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy (Ukravtodor), 2009. 76 c.
8. Syzonenko V.V., Rybitskyi L.L. Rekomendatsii po zastosuvanniu heoinformatsiinykh tekhnolohii v dorozhnomu hospodarstvi. R V.3.1-218-05416892-735:2008. / V.V. Syzonenko, L.L. Rybitskyi, K.: 2008. 30 c.
9. Starovierov V., Adamenko O. Heodezychniy monitorynh mostiv // Geodesy, architecture & construction 2011” (GAC-2011), 24-26 November 2011. C. 168–171.
10. Abulizi N. [and etc]. Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016. № 5 (3). C. 398–411.
11. Beshr A.A.E.-W. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques // Engineering. 2015. № 08 (07). C. 488–498.
12. Du Y. [and etc]. Measurement of International Roughness Index by Using Z -Axis Accelerometers and GPS // Mathematical Problems in Engineering. 2014. (2014). C. 1–10.
13. Kongyang Chen [and etc]. Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, 2011. 1032–1037 s.
14. Kumar P. [and etc]. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. (32). C. 125–137.
15. Razi P. [and etc]. 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV // IEEE Access. 2018. (6). C. 12395–12404.
16. Shams A. [and etc]. Highway Cross-Slope Measurement Using Mobile LiDAR // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2018. C. 036119811875637.
17. Sjögren L. Overall quality management of road condition monitoring: a case study / L. Sjögren, 2015. 21 c.
18. Velasco-Gómez J. [and etc]. Use of the gyrotheodolite in underground networks of long high-speed railway tunnels // Survey Review. 2016. № 350 (48). C. 329–337.
19. Xi R. [and etc]. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques // Measurement. 2018. (120). C. 128–139.
20. Yang J. [and etc]. Automatic deformation monitoring for large span bridge based on multi-constellation BDS and GPS system // International Journal of Robotics and Automation. 2018. № 5 (33).
21. Zang K. [and etc]. Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors on Bicycle-Mounted Smartphones // Sensors. 2018. № 3 (18). C. 914.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНЕЙ МІЖ БАЗОВИМИ СТАНЦІЯМИ І СУПУТНИКОВИМ ПРИЙМАЧЕМ НА ТОЧНІСТЬ КООРДИНАТНИХ ВИЗНАЧЕНЬ

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SURFACES BETWEEN BASIC STATIONS AND SATISFACTORY RECOGNITION ON THE ACCURACY OF COORDINATING DEFINITIONS



*Неізнана Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, [super-nesh@ukr.net](mailto:super-nesh@ukr.net), +380957970158,*

<https://orcid.org/0000-0003-2406-3906>



*Хом'як Анна Ярославівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, [akhomyak@gmail.com](mailto:akhomyak@gmail.com), +380673990164,*

<https://orcid.org/0000-0002-2483-8153>



*Омельчук Сібілла Костянтинівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, [sib@ukr.net](mailto:sib@ukr.net), +380974403827,*

<https://orcid.org/0000-0003-2191-1551>



*Малько Марія Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном e-mail: [mariya.malko@gmail.com](mailto:mariya.malko@gmail.com), тел. +380674021765, <https://orcid.org/0000-0003-4450-1387>*

**Анотація.** Досліджено відстані між різними базовими станціями і мобільним приймачем, а також помилки координатних визначень при різних відстанях між базовою станцією і мобільним приймачем. Для реалізації поставлених завдань були застосовані наступні методи досліджень: польових вимірювань, метод математичного моделювання та методи математичної статистики для обробки експериментальних даних. Встановлено ступень впливу відстаней між базовою станцією і супутниковим приймачем на точність координатних визначень в RTK-режимі.

**Ключові слова:** RTK-режим, базова станція, супутниковий приймач, помилки, ГНСС, координати, GPS, ГЛОНАСС.

**Вступ.** В даний час визначення просторових координат об'єктів земної поверхні з використанням мережі перманентних базових станцій (БС) стає все більш затребуваною технологією. Це пояснюється цілою низкою їх переваг щодо традиційних мереж триангуляції і полігонометрії, а саме: висока продуктивність і оперативний збір високоточної просторово-часової інформації для подальших координатних визначень, не потрібна наявність прямої видимості між вихідним і обумовленими пунктами, станції можуть бути встановлені в зручних місцях, там, де вони необхідні (а не на віддалених вершинах), геометрія мережі не є такою критичною як в традиційних мережах.

Існує ряд труднощів при створенні і використанні мережі базових станцій, пов'язаних новизною технології та, як наслідок, з недостатньою вивченістю.

Найважливішою проблемою, при створенні мережі базових станцій є визначення оптимальної відстані між ними. Зменшення відстаней між станціями веде безумовно до підвищення точності позиціювання, але збільшує число станцій, що природно викликає зростання витрат на створення і підтримку мережі. У науково-технічній літературі, присвяченій даному питанню, є суперечлива інформація. Так довжина базисів мережі SAPOS (Germany) становить 40 ... 70 км і включає 250 станцій, GPS network in the urban area of Recife (Brazil) - 20 ... 50 км (4 шт.), RTK Network System in the Tokyo area (Japan) - 50 ... 100 км (6 шт.). ТОВ «Навігаційно геодезичний центр» (мережа БС в Харківській області) вказує, що в статичному режимі максимальна відстань від базової станції до місця проведення зйомки не повинно перевищувати 30 км і лише в деяких випадках допускається робота до 50 км. «Інжиніринговий Центр ГФК» (мережа БС в Ульяновської області РФ) вважає, що максимальна дальність роботи в режимі RTK до 50 км, роблячи позначку, що в періоди активності сонця спотворення радіосигналів супутників ГНСС в іоносфері призводить до погіршення точності або неможливості виконувати точні вимірювання на відстанях більше 25 км. Протиріччя всіх пропозицій полягає в тому, відстань, на яке дозволяє віддалятися від БС приймач, що працює в RTK-режимі, менше, ніж статичний метод виконання вимірювань.

Таким чином, зростаюча популярність використання мереж БС вимагає детального вивчення вищевказаних питань.

**Мета і методи.** Для встановлення ступеня впливу відстаней між базовою станцією і супутниковим приймачем на точність координатних визначень в RTK-режимі необхідно провести експериментальні дослідження з метою виявлення залежності точності визначення координат в режимі RTK при різних відстанях між супутниковим приймачем і базовою станцією, а також зробити аналіз точності координатних визначень при різних способах формування мережевих поправок. На основі отриманого аналізу, розробити рекомендацій з проектування перманентних базових станцій.

Для визначення залежності точності координат пункту спостережень від одиночних базових станцій були виконані експериментальні дослідження на пункті триангуляції III класу Бортничі. Схема розташування пункту представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Схема розташування пункту триангуляції Бортничі  
Figure 1 – Scheme of location of the point of triangulation Bortnichi

Пункт був обраний таким чином, щоб вплив багатокільній було мінімальним, тобто навколо пункту вимірювань відсутні високі споруди і дерева, які могли б стимулювати явище багатокільній і стати джерелом перешкод при прийомі радіосигналів від навігаційних супутників. Загальний вигляд пункту з встановленою на ньому антеною приймача показаний на рисунку 2.

З огляду на, що пункт Бортничі відноситься до 3 класу і невідомо його стан в даний час, то перед виконанням досліджень був виконаний контроль його координат. Для виконано координування пункту в режимі статика щодо 3-х найближчих базових станцій. Накопичення даних здійснювалося протягом 2 годин. За період вимірювань приймалися сигнали від 20-ти навігаційних супутників, з яких 12 є супутниками GPS і 8 ГЛОНАСС. Постобробка цих вимірювань виконана в програмному комплексі SpiderWEB.



Рисунок 2 – Загальний вигляд пункту спостереження  
Figure 2 – The general view of the observation point

**Результати і пояснення.** В результаті виконаних вимірювань отримані координати, які наведені в таблиці 1. Ці координати дещо відрізняються від каталожних значень координат пункту, які були раніше визначені в результаті лінійно-кутових побудов. З огляду на якість сучасних технологій і вимірювань, було прийнято рішення, що в якості еталонних координат пункту, будуть прийняті координати з супутникових спостережень.

Таблиця 1 – Еталонні координати пункту Бортничі в СК-63  
Table 1 – The reference coordinates of the Bortnichi point in SC-63

Бортничі	x	y	h
III клас	5573987,371	3386228,936	113,138
Статика	5573987,441	3386228,945	113,044
Різниця координат, мм	+70	+9	-96

Для вирішення поставленого завдання досліджень, а саме - встановлення залежності точності визначення координат від одиночних базових станцій в RTK, були незалежно визначені координати пункту Бортничі від 6-ти базових станцій, віддалених на різні відстані в діапазоні від 6 до 235 км. Схема розміщення базових станцій щодо пункту Бортничі показана на рисунку 3.

Відстані до БС і напрямлення на них наведені в таблиці 2. На кожну БС було виконано трохи більше 300 вимірювань (табл.2) при автозбереженні даних з інтервалом в 1 с. Всі вимірювання виконувалися в умовах чистого небосхилу при вугіллі маски в 10 градусів. В результаті того, що спостереження проводилися у вечірній то це сприяло зменшенню впливу іоносферних затримок. Таким чином, можна констатувати, що умови проведення експериментальних вимірювань були найкращими.

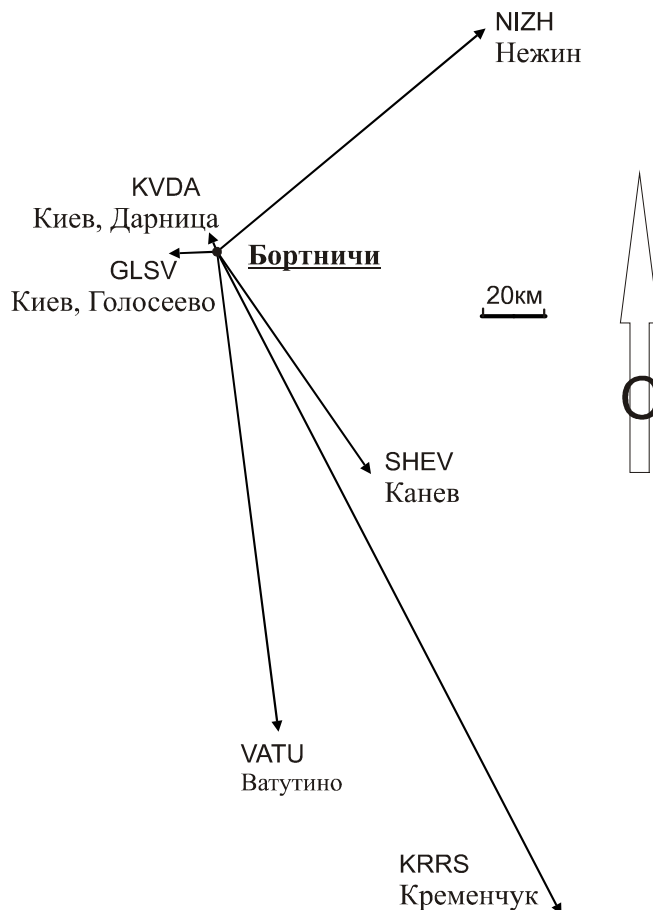


Рисунок 3 – Схема взаємоположення базових станцій пункту спостережень  
 Figure 3 – Scheme of interconnection of base stations of the point of observation

Попередній аналіз отриманих результатів показує, що значення, розкиду, випадкових середніх квадратичних помилок і систематичних помилок зростають зі збільшенням відстаней до БС. Крім того, істотно змінюється розсіювання планових координат (рисунок 4).

Аналіз цих графіків показує, що область розсіювання при вимірах від БС KVDA, GLSV і NIZN формує еліпс. Зі збільшенням відстані між супутниковим приймачем і БС область розсіювання стає витягнутою, що свідчить про переважання систематичних помилок вимірів.

Систематичні помилки в плані практично лінійно залежать від відстані до базової станції (рисунок 5). Ця залежність описується лінійною функцією з коефіцієнтом кореляції рівним 0,986:

$$\delta_l = 0,0037 S_{km} \quad (1)$$

Якщо задатися дециметровому точність, тобто систематична помилка в плані не повинна перевищувати 0,1 м, то відстань до БС не повинно перевищувати 25 км.

Таблиця 2 – Характеристики вимірних векторів і результати оцінки точності  
Table 2 – Characteristics of measured vectors and results of estimation of accuracy

Назва БС	KVDA	GLSV	SHEV	NIZH	VATU	KRRS
Розташування БС	Київ, Дарниця	Київ, Голосеєво	Канів	Ніжин	Ватутіна	Кременчук
Відстань, км	6,6	15,3	85,1	109,9	152,3	235,1
Дирекційний кут, градус	272,06	338,25	145,31	50,25	172,71	152,54
Число вимірів $n_j$	312	311	328	329	329	329
Розкид значень, м						
за $x - \Delta x^j$	0,008	0,029	0,029	0,087	0,105	0,721
за $y - \Delta y^j$	0,009	0,017	0,029	0,049	0,121	0,302
за висотою - $\Delta h^j$	0,022	0,040	0,069	0,189	0,113	0,532
Середня квадратична похибка за відхиленнями від середнього значення, м						
за $x - \sigma_x^j$	0,002	0,005	0,005	0,026	0,028	0,160
за $y - \sigma_y^j$	0,002	0,003	0,007	0,012	0,035	0,061
у плані - $\sigma_l^j$	0,003	0,006	0,009	0,029	0,045	0,171
за висотою - $\sigma_h^j$	0,003	0,009	0,013	0,047	0,023	0,070
Відхилення від стандарту (систематична помилка), м						
за $x - \delta x^j$	-0,015	-0,012	-0,263	0,029	-0,438	-0,763
за $y - \delta y^j$	0,004	0,023	0,087	0,304	0,3183	0,527
у плані - $\delta l^j$	0,016	0,026	0,277	0,306	0,541	0,927
дир.кут відхилення, градус - $\alpha_l^j$	180	152	108	5	126	125
за висотою - $\delta h^j$	-0,004	-0,023	-0,012	-0,001	-0,147	0,212

При значних відстанях спостерігається відхилення значень планових координат у напрямку до базової станції.

Систематичні помилки по висоті істотно менше і при відстанях до 100 км не перевищують 0,1 м.

Випадкові помилки вимірювань істотно менше систематичних (рисунок 6). Вони теж зростають з ростом відстаней, але не перевищують 0,1 м при відстанях до 180 км.

Ці графіки показують, що спостерігається тенденція зміщення координат з плином часу. При вимірах від БС KRRS спостерігаються скачки в координатах - це явище пояснюється тим, що пункт спостереження знаходиться від БС в більш ніж 200 км і супутниковий приймач постійно намагається виконати ініціалізацію.

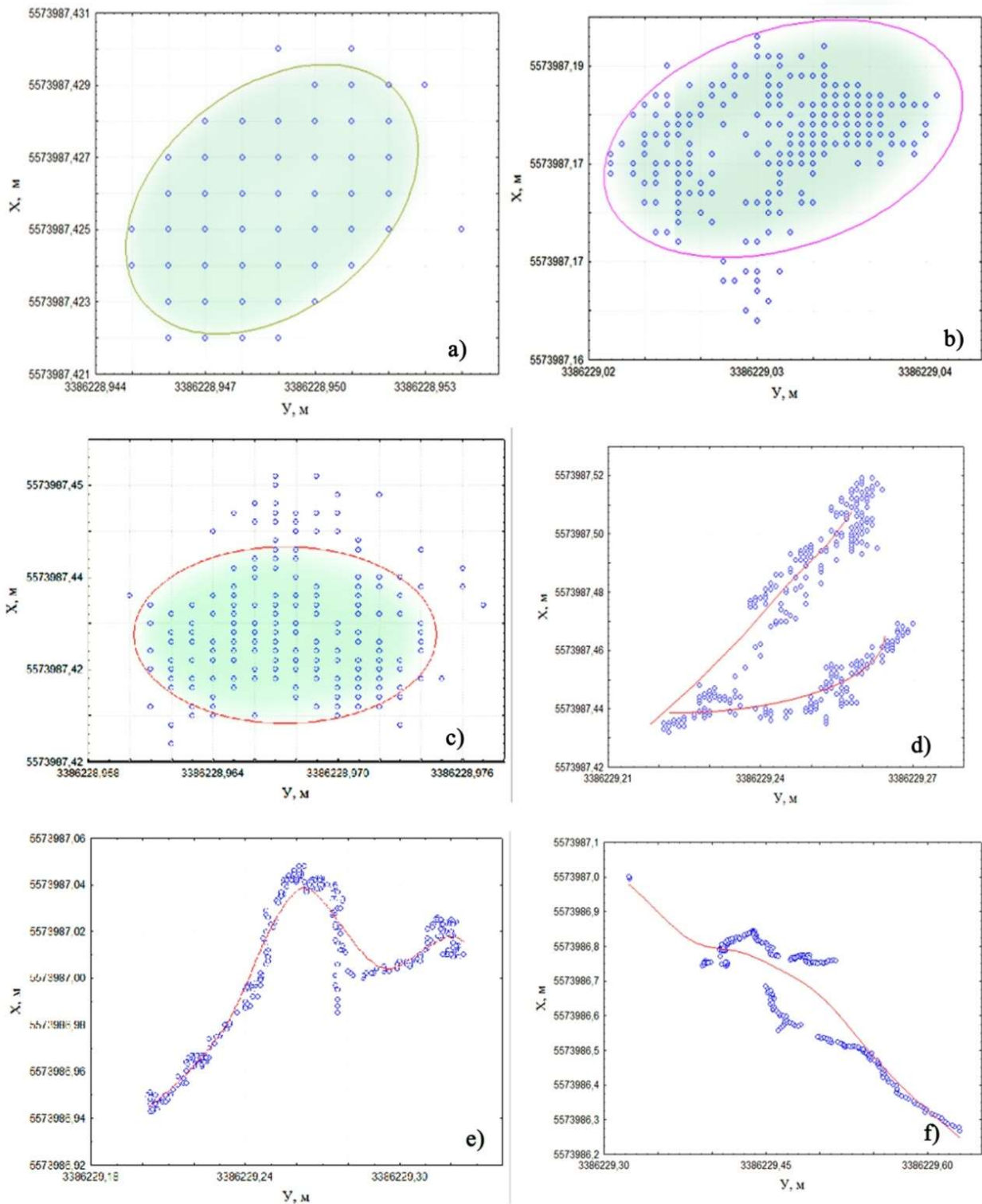


Рисунок 4 – Область розсіювання координат пункту спостережень з базових станцій: а) KVDA ( $s = 7$  км); б) GLSV ( $s = 15$  км); в) SHEV ( $s = 85$  км); д) NIZN ( $s = 110$  км); е) VATU ( $s = 152$  км); ф) KRRS ( $s = 235$  км)

Figure 4 – Scope of the coordinates of the point of observation from the base stations: а) KVDA ( $s = 7$  km); б) GLSV ( $s = 15$  km); в) SHEV ( $s = 85$  km); д) NIZN ( $s = 110$  km); е) VATU ( $s = 152$  km); ф) KRRS ( $s = 235$  km)

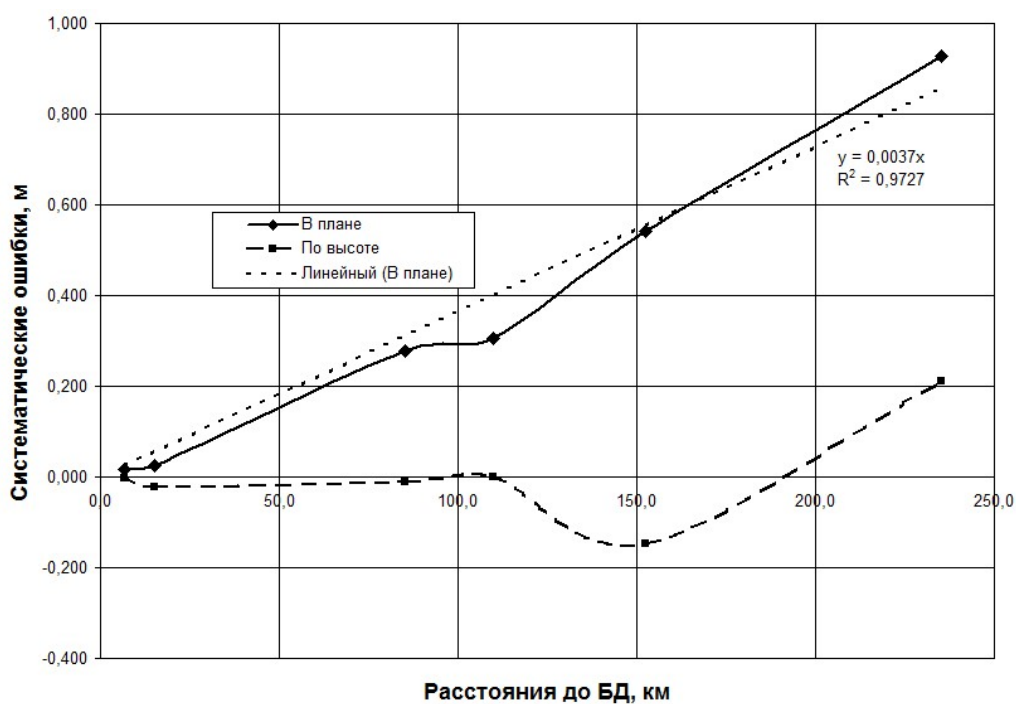


Рисунок 5 – Графіки зміни систематичних помилок  
Figure 5 – Changes in systematic errors

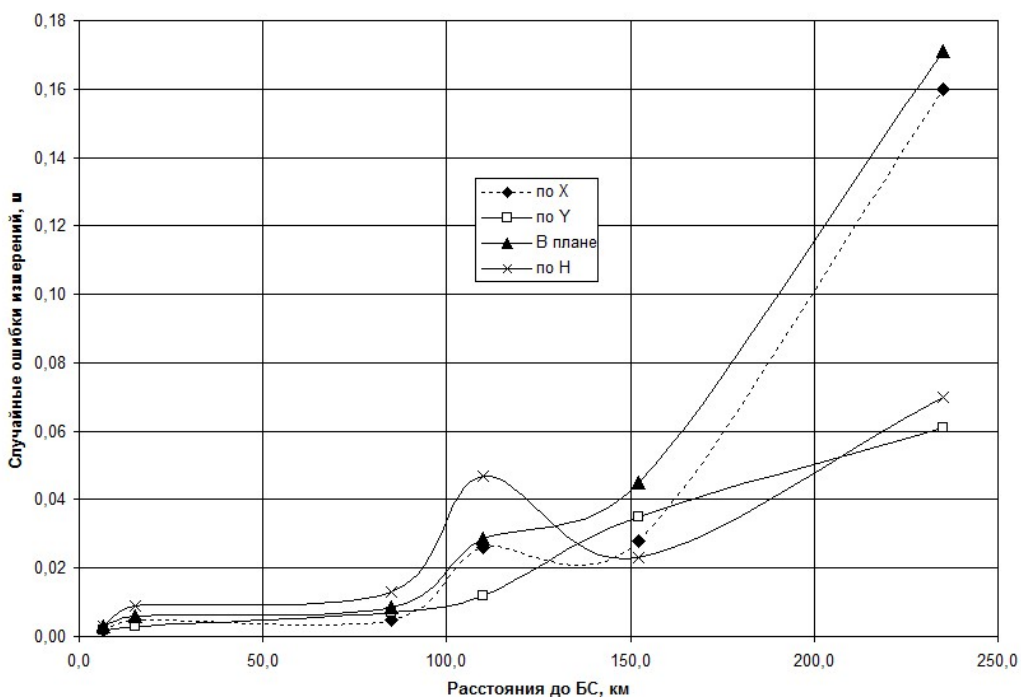


Рисунок 6 – Графіки зміни випадкових помилок  
Figure 6 – Charts for changing random errors

**Висновки та рекомендації.** На основі виконаних досліджень встановлено, що випадкові похибки вимірювань істотно менше систематичних і вони не є чинником, що визначає відстані до БС. Основним чинником, що обмежує допустимі відстані між супутниковим приймачем і БС, є систематичні помилки, обумовлені неможливістю використовувати передані поправки на відстанях більше 25-30 км. При цьому поправки в плані визначаються гірше, ніж по висоті. З огляду на перекриття зон впливу від окремих станцій можна вважати, що відстані між станціями повинні складати не більше 50-60 км.

### Перелік посилань

1. Старостин А.Ю. Концепция сети постоянно действующих станций virtual reference station (vrs) компании trimble и технология ее поэтапного создания/А.Ю. Старостин/ ЗАО НПП «Навгеоком» /г. Москва. / [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://www.credodialogue.com/getattachment/ce89a4a8-abce-4139-b059-2e9a3080f3ff/Kontseptsiaj-seti.aspx>, свободный.
2. Руководящий технический материал РТМ 68-14-01 спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения / Федеральная служба геодезии и картографии России центральный ордена «знак почета» научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф.Н. Красовского. – М.: ЦНИИГАиК, 2001г.
3. Евстафьев О.В. Организационно-технические мероприятия создания сети постоянно действующих спутниковых референчных станций / О.В. Евстафьев / Создание региональной сети постоянно действующих спутниковых станций: семинар (г. Ульяновск, 9 июня 2011 г.) – Ульяновск: Инжиниринговый Центр ГФК, 2001г..
4. Базовые станции и сети GPS / [Электронный ресурс] / Глобальные навигационные спутниковые системы и их наземная инфраструктура / Режим доступа: [http://www.rogtecmagazine.com/PDF/Issue\\_013/09\\_SatelliteSystems.pdf](http://www.rogtecmagazine.com/PDF/Issue_013/09_SatelliteSystems.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ..
5. Горб А.А. Экспериментальная оценка точности определения координат диф. режиме / А.А. Горб, Р.Н. Федоренко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (17) 2009г..
6. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О.В. Евстафьев / Геопрофи. — 2008. — № 1. — С. 21–24.
7. G.Hedling, B. Jonsson, C. Lilje, M. Lilje. SWEPOS® - The Swedish network of permanent gps reference station (Status February 2001)
8. B. Jonsson, G.Hedling, P. Wiklund. SWEPOS® Network-RTK Services – status, applications and experiences. ION GPS/GNSS 2003, 9-12 September, 2003, Portland, Oregon, U.S. - ionswep3091\_pub.pdf
9. EUREF Permanent Networks / [Электронный ресурс] / GPS Permanent Networks in Germany and Europe / Режим доступа: <http://www.epncb.oma.be>, свободный.
10. Sapos / [Электронный ресурс] / Служба спутникового позиционирования Геодезического Управления Германии / Режим доступа: <http://www.sapos.de>, свободный.

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SURFACES BETWEEN BASIC STATIONS AND SATISFACTORY RECOGNITION ON THE ACCURACY OF COORDINATING DEFINITIONS

**Neizvestna Natalia**, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, [supernesh@ukr.net](mailto:supernesh@ukr.net), +380957970158, <https://orcid.org/0000-0003-2406-3906>

**Khomiak Anna**, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, [akhomjak@gmail.com](mailto:akhomjak@gmail.com), +380673990164, <https://orcid.org/0000-0002-2483-8153>

**Omelchuk Sibilla**, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, [sib-@ukr.net](mailto:sib-@ukr.net), +380974403827, <https://orcid.org/0000-0003-2191-1551>

**Malko Marya M.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Engineering and Management  
e-mail: [mariya.malko@gmail.com](mailto:mariya.malko@gmail.com), tel. +380674021765, <https://orcid.org/0000-0003-4450-1387>

**Summary:** The distance between different base stations and the mobile receiver, as well as errors of coordinate definitions at different distances between the base station and the mobile receiver are investigated. For realization of the set tasks the following methods of research were applied: field measurements, mathematical modeling method and methods of mathematical statistics for the processing of experimental data. The degree of influence of distances between the base station and the satellite receiver on accuracy of coordinate definitions in RTK-mode is established.

**Key words:** RTK-mode, base station, satellite receiver, errors, GNSS, coordinates, GPS, GLONASS.

### References

1. Starostin A.Y. The concept of the trimble's virtual reference station (vrs) and the technology of its step-by-step creation / A.Yu. Starostin / CJSC NPP "Navgeokom" / g. Moscow. / [Electronic resource] / Access mode: <http://www.credo-dialogue.com/getattachment/ce89a4a8-abce-4139-b059-2e9a3080f3ff/Kontseptsiyaj-seti.aspx>, free.
2. The leading technical material of RTM 68-14-01 satellite technology of geodetic works. Terms and definitions / The Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia is the central Order of the "Honorable Mark" Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography. FN Krasovskogo. - Moscow: TsNIIGAiK, 2001
3. Evstafiev O.V. Organizational-technical measures for the creation of a network of permanently operating satellite reference stations / O.V. Evstafiev / Creation of a regional network of permanently operating satellite stations: a seminar (Ulyanovsk, June 9, 2011) - Ulyanovsk: Engineering Center of GFK, 2001.
4. Base stations and GPS / [Electronic resource] / Global navigation satellite systems and their terrestrial infrastructure / Access mode: [http://www.rogtectmagazine.com/PDF/Issue\\_013/09\\_SatelliteSystems.pdf](http://www.rogtectmagazine.com/PDF/Issue_013/09_SatelliteSystems.pdf), free. - Zagl. from the screen. - I'm from. Russian, English ..
5. Gorb AA Experimental estimation of the accuracy of the determination of the coordinates diff. mode / AA Gorb, RN Fedorenko // Modern achievements in geodetic science and production, issue I (17) 2009.
6. Evstafiev O.V. Ground-based GNSS Infrastructure for Precision Positioning / O.V. Evstafiev / Geoprofi. - 2008. - No. 1. - P. 21-24.
7. G.Hedling, B.Jonsson, C.Lilje, M.Lilje. SWEPOS® - The Swedish network of permanent gps reference station (Status February 2001)
8. B. Jonsson, G.Hedling, P. Wiklund. SWEPOS® Network-RTK Services - status, applications and experiences. ION GPS / GNSS 2003, September 9-12, 2003, Portland, Oregon, U.S. - ionswep3091\_pub.pdf
9. EUREF Permanent Networks / [Permanent Networks in Germany and Europe / Access Mode: <http://www.epncb.oma.be>, free.
10. Sapos / [Electronic resource] / Satellite Positioning Service of the Geodetic Office of Germany / Access Mode: <http://www.sapos.de>, free.
11. DSTU B V.2.7-47 Budivelni materiali. Betoni. Metodi viznachennya morozostiykosti. Zagalni vimogi.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОНИКНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**



*Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропорти, e-mail: [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com), +380503524124,*

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



*Рутковська Інесса Анатоліївна, кандидат технічних наук, професор Національний транспортний університет, професор кафедри «Аеропорти», e-mail: [ria\\_ntu@yandex.ua](mailto:ria_ntu@yandex.ua), тел. +380442807073,*

<https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>



*Герасименко Алла Володимирівна, старший викладач Національний транспортний університет, старший викладач кафедри «Аеропорти», e-mail: [a\\_gerasimenko@yandex.ua](mailto:a_gerasimenko@yandex.ua), тел. +380442808402*

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



*Філіщук Марія Миколаївна, аспірантка Національний транспортний університет, аспірантка кафедри «Аеропорти», e-mail: [mariaoleksuk6@gmail.com](mailto:mariaoleksuk6@gmail.com), тел. +380961438071*

<https://orcid.org/0000-0002-0195-1006>

**Анотація.** В статті наведені аналіз міжнародного досвіду використання проникного цементобетону на об'єктах транспортної інфраструктури, переваги та недоліки матеріалу та аналіз властивостей проникного бетону.

Об'єкт дослідження – використання проникного цементобетону при будівництві об'єктів транспортної інфраструктури.

Мета роботи – обґрунтування використання проникного цементобетону при будівництві об'єктів транспортної інфраструктури на основі аналізу попереднього міжнародного досвіду та лабораторних випробувань відповідних цементобетонних зразків.

Методи дослідження – аналіз міжнародної та вітчизняної літератури та оцінка досвіду використання проникного цементобетону, лабораторні випробування цементобетонних зразків.

Огляд світового досвіду досліджень проникного (дренуючого) цементобетону, влаштування та експлуатації шарів аеродромного одягу з нього показує техніко-економічну доцільність та ефективність їх застосування. Проникний цементобетон це матеріал з високою відкритою пористістю, яка забезпечує хороші шумопоглинаючі властивості і дренажну здатність в поєднанні з шорсткістю, рівністю і поперечним тертям.

Результати статті можуть бути упроваджені в різних технологіях будівництва та ремонту об'єктів транспортної інфраструктури.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимального складу проникного цементобетону для подальшого використання в технологіях будівництва та ремонту конструкцій та споруд.

**Ключові слова:** проникний цементобетон, автомобільна дорога, аеродром, дорожнє покриття, аеродромний одяг, водопропускна здатність, дефекти.

### Постановка проблеми

В сучасних умовах об'єкти транспортної інфраструктури відіграють важливу роль в економіці України та в житті суспільства, загалом. Чотири з дев'яти міжнародних транспортних коридорів проходять через територію України. Наша країна є незалежною державою, одним із засновників ООН, входить до Ради Європи, міжнародних організацій із різних видів транспорту, займає вигідне для створення міжнародних транспортних коридорів геополітичне становище, має розвинуту промисловість, спроможну виготовляти та обслуговувати сучасні транспортні засоби, дорожньо-будівельну техніку, а також потужний потенціал наукових, проектних, навчальних закладів та кваліфікованих кадрів [1].

У осінньо-зимовий період експлуатації та обслуговування елементів транспортної інфраструктури часто виникають проблеми зі швидким видаленням води з поверхні покриття в разі дощу і поліпшення дренажу дорожнього та аеродромного покриттів, ризик аквапланування ПС та транспортних засобів, низька шорсткість поверхні покриття. Рух транспортних засобів постійно створює високий рівень шуму, що сильно шкодить здоров'ю людини та забруднює навколишнє середовище. Ряд цих та інших проблем створює небезпечні умови для людей та наносить шкоду екології Землі.

Як відомо, основним ворогом доріг є вода, а точніше відсутність або недостатня роботи дренажної системи та незадовільне поверхневого водовідведення, особливо в міських умовах (рис. 1).



Рисунок 1 – Наслідки відсутності або недостатньої роботи дренажної системи та незадовільного поверхневого водовідведення в міських умовах: а) м. Київ, б) м. Ірпінь

Figure 1 - Consequences of the absence or insufficient operation of the drainage system and unsatisfactory surface drainage in urban conditions: a) Kyiv, b) Irpin

Для рішення цієї проблеми в останні роки успішно використовується проникний (дренуючий) бетон [2, 3].

Впровадження проникного бетону відповідає концепції сталого (стійкого, неперервного) розвитку (Sustainability):

- «Розвиток, який відповідає потребам сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти власні потреби» - Комісія Брундтленда 1983;

- «Розвиток, який відповідає транспортним та іншим потребам сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби» - TRB 2005.

«Сталий» - включає «зелений» аспект проекту (який зосереджується виключно на екологічному управлінні), а також інтегрує інші два компоненти: економічного зростання та соціальної відповідальності.

Застосування проникних цементобетонів в покритті та основі здійснюється в багатьох країнах (Австрії, Бельгії, Великобританії, Німеччини, Іспанії, Нідерландах, США, Франції, Швейцарії, Японії та ін.). На даний час на багатьох швидкісних дорогах Швейцарії застосовуються дорожні покриття з відкритими порами, які почали використовувати в кінці 1970-х років. Переваги покриттів з проникного цементобетону, за даними зарубіжних досліджень: швидке видалення води з поверхні покриття в разі дощу і поліпшення дренажу дорожнього та аеродромного одягів, що зменшує ризик аквапланування транспортних засобів і підвищує безпеку руху в дощову погоду; підвищена і стійка шорсткість поверхні; зниження рівня шуму від руху транспортних засобів. Дренуюча здатність покриття робить його практично сухим, воно також має високий ступінь звукопоглинання.

**Мета роботи** – аналіз стану справ та встановлення перспективних напрямків використання проникного цементобетону при будівництві об'єктів транспортної інфраструктури.

### Виклад основного матеріалу

#### 1. Загальні поняття про проникний бетон (pervious concrete)

**Визначення та поняття.** Поняття проникного цементобетону в нашій країні та на теренах бувшого СРСР на сьогодні не сформовано.

Проникний (синоніми - пропускальний, пропускний, дренажний, дренуючий, дренальний тощо) бетон – матеріал, що отримується після твердіння бетонної суміші підібраного складу, що включає щебінь, малу кількість піску, портландцемент, воду та добавки, здатний чи призначений пропускати воду і /або інші речовини при нормальних умовах (температура вище замерзання води або розчинів, атмосферному тиску тощо), завдяки сформованій структурі відкритих пор.

На сьогодні немає класифікації таких цементобетонів, подібно до того, як асфальтобетон класифікують за пористістю на литий (до 2,0%), щільний (від 3 до 5%), пористий (від 5 до 10 %), високопористий (від 10 до 15%) та дренуючий (від 15 до 25%).

Дорожній та аеродромний цементобетон повинен мати пористість в межах 4 – 6% для забезпечення морозостійкості [4]. За основу класифікації може бути покладена пористість (запаскова) цементобетону (щільний, пористий (поруватий), високопористий) [5], однак цей показник нестабільний, має ймовірнісний стохастичний характер, змінюється при зміні умов випробувань, тому в цементобетонах не має поширення.

Проникний цементобетон (ПЦБ) (Pervious Concrete (PC) [6] (Chandrapa and Biligiri, 2016) був використаний як засіб для зменшення стоку зливових вод. Основним принципом роботи шару ПЦБ є швидка передача зливової води через взаємопов'язану внутрішню макропористу структуру. Ця структура створюється шляхом вибору відповідних фракцій крупного заповнювача та цементуючих матеріалів. Матеріал, що класифікується за пустотами, створюється крупними заповнювачами одного розміру з оптимальною кількістю цементу для покриття та зв'язування заповнювачів. Вказано мінімальну пористість 15% та типовий діапазон 16-25%. Проникним цементобетоном називають цементобетон з відкритою структурою великих пор, який в якості в'язучого матеріалу містить таку кількість цементного тіста або тонкого розчину, щоб заповнювати пустоти між зернами заповнювача після ущільнення [7] та забезпечити необхідну пропускну здатність. Загальний вигляд проникного цементобетону показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд зразку кубу проникного цементобетону

Figure 2 – General view of a sample cube of pervious cement concrete

## 2. Підбір складу ПЦБ

Основним принципом підбору складу суміші ПЦБ є забезпечення відповідного покриття заповнювачів цементним каменем, що може бути досягнуто різними методами, такими як метод абсолютного об'єму, теорія надлишку цементної пасти або на основі відношення об'єму цементного розчину до порожнеч між частками заповнювача [8 - 10] (Deo and Neithalath, 2011; Nguyen et al., 2014; Yahia and Kabagire, 2014). Типова щільність заповнювача становить  $1400\text{--}1800\text{ кг/м}^3$  при співвідношенні заповнювача та цементу від 4:1 до 12:1.

Одним з основних критеріїв застосування пористого цементобетону є поєднання хорошої водопроникності і опору механічним впливам, в тому числі і навколишнього середовища. При використанні проникного цементобетону для влаштування покриття або верхніх шарів основ зазначені вище характеристики можуть бути досягнуті шляхом відносно невеликим дозуванням цементу (що не перевищує  $200\text{ кг/м}^3$ ). Якщо проникний цементобетон застосовується для покриттів і піддається безпосередньому впливу коліс, то важче знайти компроміс між водопроникністю і міцністю, включаючи опір відриву щєбінок. В цьому випадку слід підвищувати вміст цементу (до  $300\text{--}400\text{ кг/м}^3$ ) або вводити невелику кількість цементу, але з певними добавками (в основному полімерів або мікрокремнезему), які покращують міцність цементобетону без зменшення його пористості [7 - 9].

Співвідношення води та цементу (мас. В / Ц) вибирається на рівні  $0,2\text{--}0,4$ , як правило, нижче, ніж у звичайного цементобетону [11]. Вміст заповнювача становить від 50 до 65%, при співвідношенні заповнювач - цемент від 4:1 до 6:1. Максимальний розмір фракцій заповнювачів коливається в межах  $19\text{--}9,5\text{ мм}$ , іноді використовуються менші заповнювачі ( $9,5\text{--}2,36\text{ мм}$ ). Фізичні властивості заповнювачів повинні відповідати тим самим вимогам, що й ті, що використовуються у звичайній цементобетонній суміші. Як правило, виявлено, що ПЦБ з гранітними заповнювачами є більш стійкими до пошкодження від замерзання – відтавання (F / T) порівняно з такими як з вапняком або річковим гравієм. Порівняно тонка цементна паста в ПЦБ дозволяє легше потрапляти воді в заповнювач, а отже властивості заповнювачів дуже важливі для забезпечення відповідної стійкості проти пошкодження замерзання - відтавання.

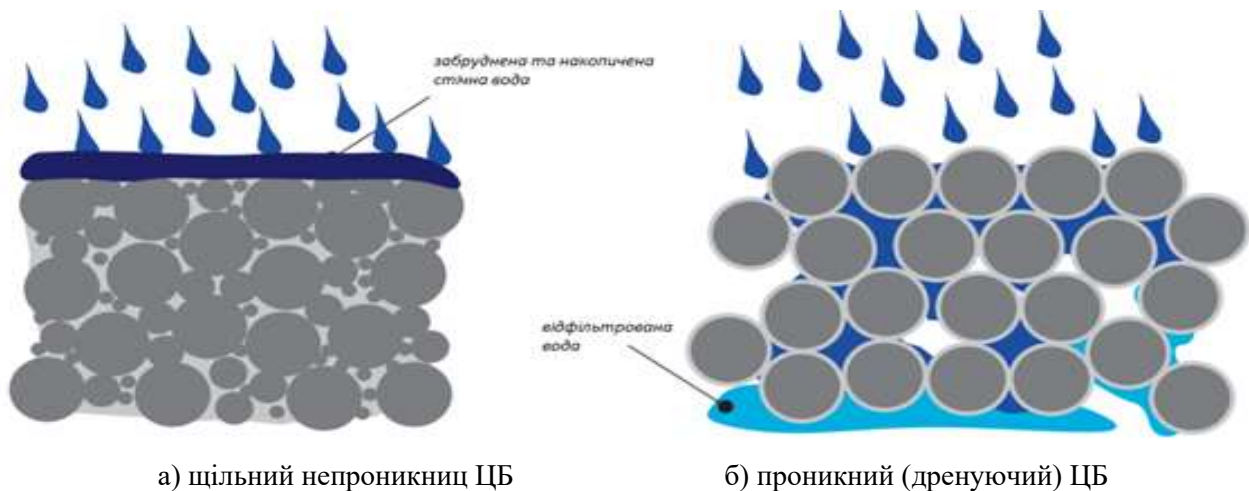
ПЦБ, як правило, виготовляються із звичайного портландцементу та такій кількості, яка забезпечує покриття достатньою міцністю. Встановлено, що використання додаткових цементуючих матеріалів є ефективним до граничного значення [12] (Fu et al., 2014). Товщина покриття ( $6\text{--}9\text{ мм}$ ) є важливим фактором, що впливає як на структурні, так і на гідрологічні характеристики ПЦБ. ПЦБ розроблені з нульовою осадкою конуса (легкоукладальність П0), а добавки використовуються для покращення

працездатності. Добавки використовуються для захоплення повітря та зменшення швидкості випаровування, а також для поліпшення міцності при замерзанні - відтаванні (F / T) (повітровтягувальна хімічні добавки).

### 3. Основні властивості проникного цементобетону

У різних країнах проведені дослідження з метою оптимізації складів цементобетону і забезпечення його морозо- і морозосолестійкості. Для отримання цих властивостей були встановлені вимоги щодо міцності при стисненні, згині, відкритої пористості і динамічного модуля пружності.

Проникний цементобетон відрізняється від звичайного щільного цементобетону, як правило, тим, що складається з суміші крупного заповнювача і розчинної частини в кількості, необхідній для обмазки і склеювання зерен заповнювача (рис. 3). Зерна крупного заповнювача склеюються в'язучим (цементною пастою) при контакті одне з одним, а простір між ними залишається вільним і має систему великих «наскрізних» повітряних пор, розмір яких залежить від розміру зерен заповнювача.



а) щільний непроникний ЦБ

б) проникний (дренуючий) ЦБ

Рисунок 3 – Порівняння проникного цементобетону б) з непроникним а)  
Figure 3 – Comparison of pervious concrete б) to impervious concrete а) [12]

Вміст «наскрізної» повітряної пористості може становити 10 – 25% за об'ємом в залежності від призначення (шари основи або покриття), необхідної міцності і морозостійкості цементобетону. Висока пористість (до 25%), доступна для води, досягається за рахунок переривчастого гранулометричного складу мінерального заповнювача. Для регулювання властивостей проникного цементобетону вводять полімерні добавки [7, 13].

Як правило, до важливих механічних властивостей відносять міцність на стиск, міцність на розтяг при згині, втомлюваність, зносостійкість та морозостійкість. Було помічено, що міцність ПЦБ на згині залишається незмінною протягом періоду затвердіння - 7-денна міцність становить 90% від 28-денної міцності. Встановлено, що довговічність ПЦБ є низькою, і для їх збільшення використовуються полімери. Встановлено, що пористість суміші є важливим фактором, що визначає поведінку при втомі. Як правило, ПЦБ з великими розмірами заповнювачів мають високу міцність на стиск завдяки вищому ступеню неоднорідності в структурі пор сумішей.

На даний момент не існує стандартної методики визначення водопроникності проникного бетону в лабораторії. Багато дослідників прийняли техніку ламінарного потоку води, представлені Американським інститутом бетону (ACI) Комітетом проникного бетону 522 [14]. Рисунок 4 (а) показує типовий метод визначення інфільтрації лабораторним пермеаметром. Верхня і нижня трубки (25 мм) спочатку видаляються зі стандартного циліндра 100 мм на 200 мм, щоб забезпечити рівномірний об'єм води і усунути будь-яке засмічення пор на дні зразка. Потім зразок закріплюється в термоусадочних

пластикових та гумових ущільнювальних кільцях. Зразок додатково утримується у гнучких гумових гільзах, з'єднаних з верхньою та нижньою трубами. Для створення зворотного тиску та запобігання кавітації на початку випробування передбачена стоякова труба, рівна висоті зразка. Засувка великого діаметру дозволяє швидко розпочати випробування.

Визначення водопроникності на місцевості є логістично складним; потрібна певна модифікація дорожнього покриття, щоб створити необхідний об'єм зразка, і відповідно велика кількість води. Щоб полегшити ці проблеми, фільтрація використовується як модель водопроникності. У фільтрації повідомляється лише про кількість води, що проходить через поверхню. Потік є ламінарним і поширюється поперек по заповнювачу таким чином, що об'єм змоченого дорожнього покриття набагато перевищує об'єм дорожнього покриття безпосередньо під випробуванням. Через це збільшення обсягу значення фільтрації можуть бути набагато більшими, ніж значення лабораторної водопроникності. Фільтрація виконується в полі за допомогою стандартного методу випробування на ступінь інфільтрації перерізу покриття із проникного бетону ASTM C1701, згідно з яким 300-мм кільце використовується для вимірювання проходу води у техніці постійної потоку.

Висота води підтримується на більш реалістичних від 10 мм до 15 мм для імітації очікуваних глибин дощової води. Хоча випробування на водопроникність на місцевості відрізняється від лабораторного тесту на водопроникність, при випробуванні на фільтрацію використовуються недорогі матеріали, він швидкий, простий у виконанні та здатний відрізнити поточні гідравлічні характеристики покриття. На рисунку 4 (б) показано випробування інфільтрації в польових умовах.

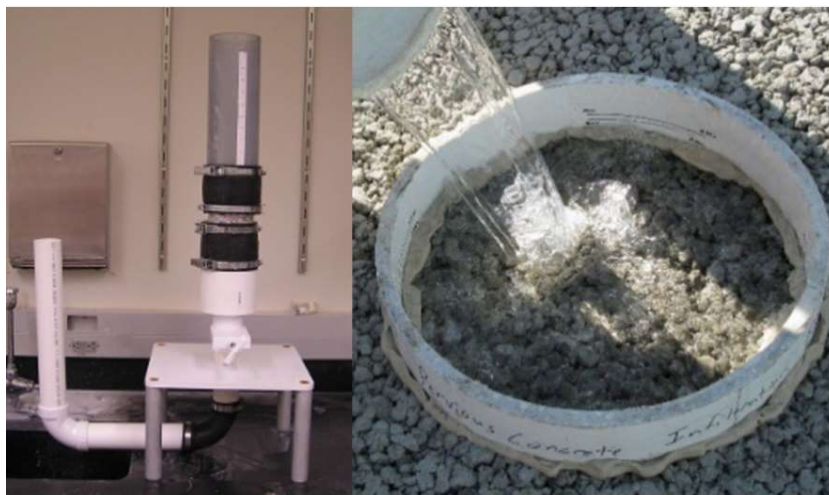


Рисунок 4 – Методи вимірювання інфільтраційних властивостей проникного цементобетону  
а – лабораторним пермеаметром; б – польовий метод

Figure 4 – Methods of measuring infiltration requirements of the porous concrete  
a – laboratory permeameter; b – field infiltration

Було зазначено, що кількість шарів ущільнення може знадобитися збільшити, щоб зменшити вертикальний розподіл пористості та потенціал руйнування на нижній поверхні, де пористість може бути більшою. Стійкість до стирання ПЦБ може бути оцінена за допомогою тесту Cantabro або тесту на стирання навантаженого колеса при тестуванні на стирання поверхні. Для покращення стійкості ПЦБ до стирання використовували волокно та латекс. ASTM C666 може бути використаний для оцінки морозостійкості ПЦБ, який може зберігати воду в макропорах і, отже, в результаті мати замерзлу воду при низьких температурах.

Властивості пор в цементному камені мають вирішальне значення для забезпечення міцністних та деформативних властивостей ПЦБ. Існує два типи властивостей пор – нетранспортні (NT) та транспортні (Т). Властивості NT включають загальну об'ємну пористість, розмір пор та їх розподіл. Властивості Т включають ефективну пористість, зв'язок пор та звивистість. Повна пористість визначається згідно ASTM C 1688, і фактично змінюється залежно від глибини. Середній ефективний розмір пор 3,4 мм повідомляється в дослідженні [15] (Kuang et al., 2010).

Властивості транспортних пор насправді мають важливе значення для транспортування води з поверхні до низу шару ПЦБ. Повна пористість ПЦБ складається з взаємопов'язаних, капілярних та замкнених пор. Ефективна пористість - це взаємопов'язана частка пор (50–75% від загальної кількості). Збільшення вмісту цементної пасту зменшує зв'язок пор, що також виявляється залежним від типу заповнювача.

Проникність ПЦБ залежить від розміру заповнювача, рівня ущільнення, зернового складу та вмісту цементу і, як повідомляється, становить від 0,1 до 2 см/с. Дослідження [6] Chandrappa and Bilgiri (2016) надають достовірні висновки стосовно співвідношення між механічними властивостями, пористістю та проникністю ПЦБ (рис. 5).

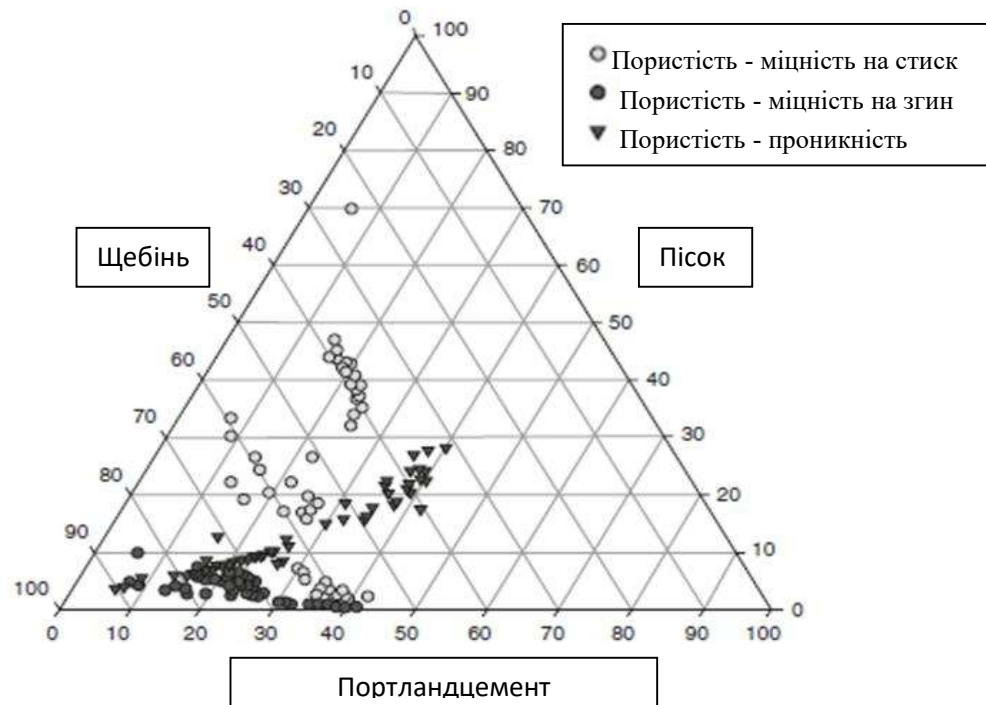


Рисунок 5 - Взаємозв'язок між різними властивостями проникного бетону (робота професора Krishna Prapoorna Biligiri [6, 10])

Figure 5 – Interrelationships between different properties of pervious concrete. (work Professor Krishna Prapoorna Biligiri [6, 10])

#### 4. Проектування дорожнього одягу із водонепроникними шарами

Типовий дорожній одяг із проникним цементобетонним покриттям складається з шару ПЦБ, верхнього необов'язкового шару геотекстилю, шару основи, геотекстилю або геомембрани та додаткової основи на ґрунті земляного полотна (рис. 6).

Крім того, також може бути передбачений перериваючий або дренажний шар. Нижня геомембрана може бути проникною або непроникною, залежно від необхідності просочування води в ґрунт або ні.

Проникний цементобетон влаштовують як у шарах зносу, так і основах покриття. Усе це обумовлено переважаючою характеристикою над іншими цементобетонами – висока інфільтрація.

Проточні покриття дозволяють зливовим водам проникати в землю, тим самим досягаючи зменшення обсягу та забруднення. Типові значення швидкості інфільтрації проникного бетону коливаються від 0,20 см/с до 0,54 см/с. Необхідно, щоб проникні покриття зберегли свою пористість і високий рівень інфільтрації, щоб і надалі відповідати цілям боротьби зі зливовими водами, для яких вони були розроблені. Окрім цього, важливу роль відіграють величина пор, оскільки вони безпосередньо пов'язані зі швидкістю інфільтрації. Нещодавно розроблені комп'ютерні моделі дозволяють віртуально характеризувати попередню мікроструктуру бетону.

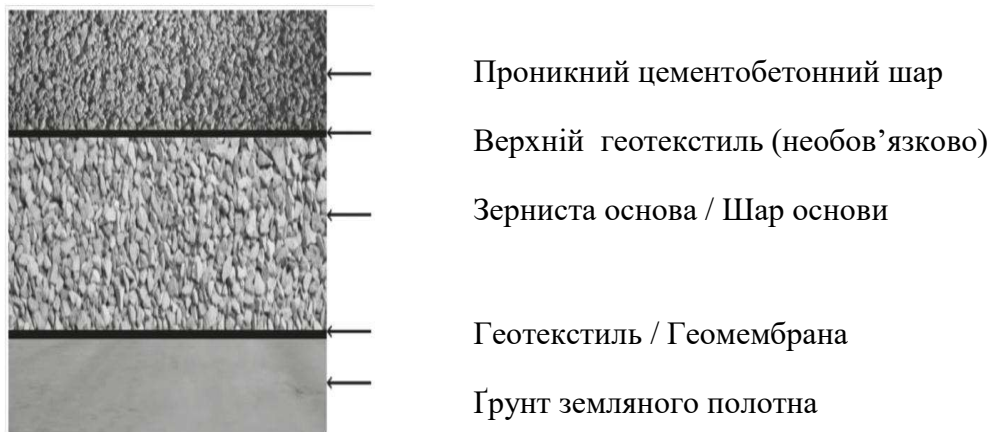


Рисунок 6 - Типовий переріз дорожнього одягу із проникного цементобетону (робота проф. Krishna Prapoorna Biligiri [6, 10])

Figure 6 – Typical cross section of pervious concrete. (work Professor Krishna Prapoorna Biligiri [6, 10])

## 5. Експлуатаційне утримання проникних покриттів

Типові руйнування для ПЦБ включають зношення швів, забруднення поверхні, сколювання та викришування. Міцність конструкції коритця із ПЦБ значною мірою залежить від товщини зернистої основи. Дослідження з використанням установки з падабчим вантажем (FWD) показали, що розрахункові значення модулів ПЦБ, що приймаються при проектуванні, становлять  $\frac{1}{4}$  від звичайних цементобетонних покриттів. Встановлено, що ПЦБ успішно пом'якшують неточковий забруднювач стоку шляхом ефективного видалення забруднюючих речовин і, отже, покращення якості інфільтрованої води що містить важкі метали, масла, фекальні матеріали та пил. Існує 3 механізми, за допомогою яких ПЦБ працюють над зменшенням забруднюючих речовин:

1. Фізичне очищення, при якому більша частина зважених твердих речовин поглинається криволинійними шляхами внутрішньої структури.
2. Хімічне очищення, при якому цементобетон, що має лужне середовище виділяє іони  $\text{OH}^-$  і  $\text{CO}_3^{2-}$  в контакт з забрудненою водою; іони реагують із забруднювачами і осаджують їх, а рН води також підвищується, роблячи її нейтральною від кислоти.
3. Біологічне очищення, при якому ряд мікробів, що існують у порах, допомагають споживати та розчиняти зважені тверді речовини.

Illgen та співавт. (2007) [16] та Illgen (2008) [17] дають деякі висновки з всебічного польового та лабораторного просочування та модельного дослідження різних типів «проникних» покриттів у Німеччині. Вони зазначили, що рівень інфільтрації різниться як просторово, так і протягом часу експлу-

атації. Наприклад, встановлено, що швидкість просочування між колесами транспортних засобів значно вища, ніж на смузі накату, де засмічення могло бути наслідком зношування від вібрації та удару шини. Також, залежно від типу покриття (наприклад, ФЕМІ або пористі покриття), пористого бетонного покриття), швидкість інфільтрації через 60 хвилин виявилася значно нижчою, ніж через 10 хвилин від початку інфільтрації. Вони прийшли до висновку, що рівень інфільтрації настільки сильно варіюється на конкретному місці через багато факторів, таких як локальне засмічення внаслідок конструкції або удару шини (див., наприклад, рисунок 7, від Illgen, 2008), що має більше сенсу прийняти імовірний або стохастичний підхід до цієї проблеми, а не рекомендовані значення або розгляд єдиного рівня проникнення. Вони також зазначили, що для конкретного покриття швидкість інфільтрації значно залежить від інтенсивності дощу - швидкість інфільтрації зростає зі збільшенням інтенсивності дощу, а потім вирівнюється до постійного значення, яке перевищує конкретну інтенсивність дощу.

Великі розміри пор, які дозволяють збільшити інфільтрацію, також можуть дозволити дрібним частинкам осаду накопичуватися в цих пустотах. Засмічення пор може значно обмежити роботу цих систем з гідрологічної точки зору. Щоб мінімізувати засмічення, потрібні правильне влаштування та експлуатація покриття. Вакуумне підмітання вулиць, промивка під тиском або їх комбінація є найбільш часто використовуваними методами для витіснення матеріалів, що закупорюють пори поруватих покриттів.

Проникний бетон покращує якість води трьома способами. Перший спосіб полягає в тому, що поруватий бетон використовується разом з інфільтраційним або утримуючим шаром, запобігаючи рух забрудненої води по течії. Другий спосіб полягає в тому, що забруднюючі речовини в межах стоку дощової води адсорбуються на частинках заповнювача, коли вода проникає через систему. Третій спосіб полягає в тому, що покриття затримує відклади, до яких адсорбуються забруднювачі (поживні речовини та метали), в пористих пустотах.

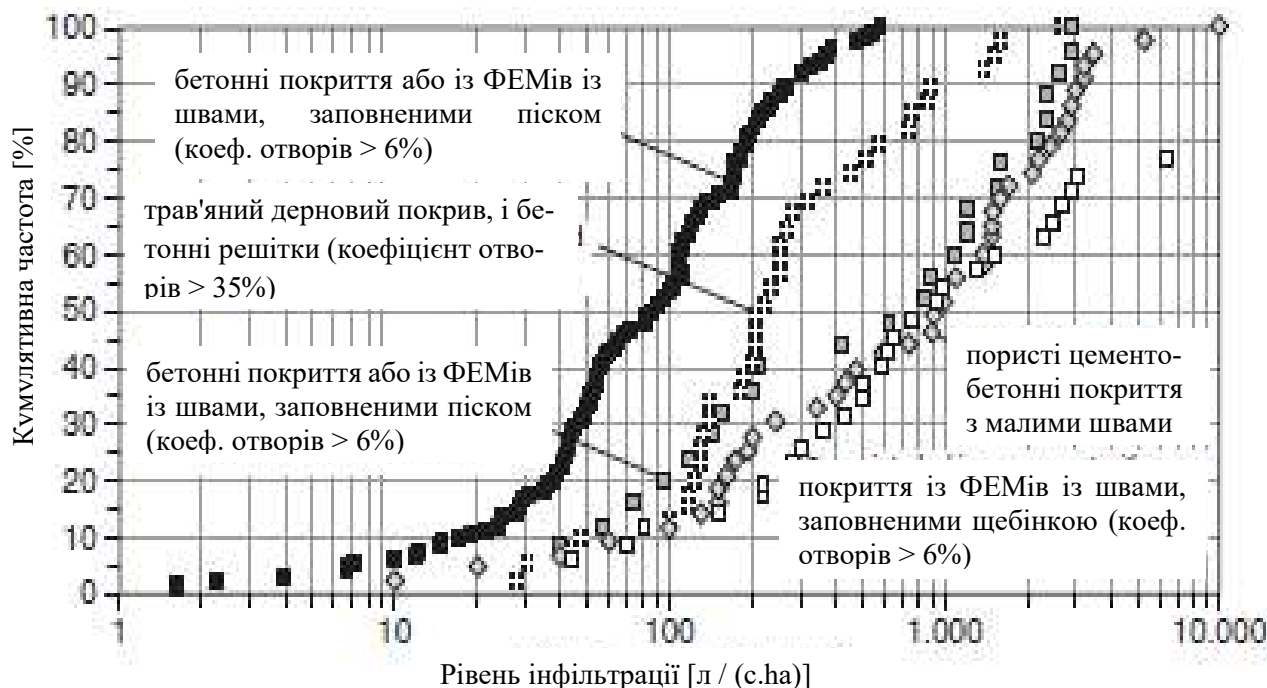


Рисунок 7 - Кумулятивна частота кінцевих показників інфільтрації загальних типів дорожнього покриття ( проф. Dr.- Ing. Marc Illgen [10, 15-16])

Figure 7 – Cumulative frequency of final infiltration rates of common pavement types. (Prof. Dr.- Ing. Marc Illgen [10, 15-16])

Збільшення товщини може призвести до збільшення потенціалу очищення. Дослідження повідомляють про вилучення 94,3% фосфору. Повідомлено про позитивний досвід щодо видалення як важких металів (промислова зона), так і фекальних речовин та фосфору (стічні води).

Екорациональний потенціал у поєднанні з підвищеною безпекою руху сприяє використанню ПЦБ як будівельного матеріалу для парковок та дорожніх покриттів. Однак більш широкого застосування дренуючого бетону можна досягти, пом'якшивши наступні три ризики:

Ризик засмічення органічними та неорганічними матеріалами знижує гідропровідність.

Обмеження міцності зв'язку між заповнювачами збільшує ризик викришування заповнювача покриття, надмірного розтріскування та дефектоутворення, що призводить до прискореного зношування, особливо при інтенсивному русі великовантажних транспортних засобів.

Велика частка площі поверхні матеріалу, що зазнає негативного впливу навколишнього середовища, збільшує ризик втрати цілісності конструкції через зменшення довговічності [6-10].

Встановлено, що міцність зменшується приблизно на 50% за кожні 10% збільшення пористості [8] (Deo and Neithalath, 2010).

Як правило, міцність ПЦБ достатня для пропуску транспортних засобів з невеликою інтенсивністю руху. Пустоти засмічуються сміттям і пилом, а також здатність ПЦБ до інфільтрації, а отже, з часом при експлуатації знижується ефективність стоку зливової води. Повідомлялося, що верхні 25 мм ПЦБ засмічуються. Потенціал засмічення є нижчим при співвідношенні розміру пор або великих часток до великих або низьких пор, а максимум - коли розмір пор та розмір матеріалу, що забивається, однакові.

Найважливішою характеристикою проникного цементобетону є покращення зчеплення шасі ПС з вологим покриттям, швидке відведення зливових вод з поверхні покриття, зменшення ефекту аквапланування, зниження рівня шуму і вібрації ПС. Покриття з водонепроникного пористого матеріалу є альтернативним способом організації поверхневого водовідведення. Принцип роботи таких покриттів полягає у вільному прониканні зливових вод всередину дренуючого матеріалу покриття з можливістю їх подальшої фільтрації. Швидкість фільтрації при цьому залежить від дренуючої здатності цементобетону і поперечних ухилів покриття [6].

### **6. Техніко-економічні показники використання ПЦБ**

Для проникного цементобетону не спостерігається значного збільшення початкових витрат відносно звичайного цементобетонного покриття (Tennis et al. 2004). Оскільки проникний цементобетон повноцінно виступає одночасно в ролі покриття та елемента дренажної та водовідвідної систем. Така технологія дорожнього покриття створює більш ефективне використання земель, усуваючи необхідність утримувати водойми, елементи водовідвідних систем або каналізаційну систему. Вартість життєвого циклу проникного цементобетону також набагато нижча за звичайне покриття, оскільки його можна переробити в кінці життєвого циклу. Це було широко визнано як варіант із найнижчою вартістю життєвого циклу, який доступний для влаштування (Ferguson 2005). Унікальна текстура поверхні пористого цементобетону в порівнянні зі звичайним бетонним покриттям забезпечує посилене тертя для шин транспорту і стійкість до заносу, запобігає виникненню небезпеки руху, особливо в сувору погоду, таку як сніг або дощ. Відкрита поверхня дренуючого цементобетону забезпечує швидке просочування та запобігає появі калюж, що може усунути розхитування та занос при температурі замерзання. Досвід показує, що пористе цементобетонне покриття дозволяє швидко розморозуватись через великі відкриті пористості на поверхні (Bean et al. 2007). Порівняно зі звичайними покриттями, поруваті бетонні покриття мають багато інших переваг, перелічених нижче (Bean et al. 2007), (US EPA 1999), (Ferguson 2005):

- Можливість швидшого відводу поверхневих вод і зменшення витрат на дренажні споруди та водовідвідні системи;

- Зменшення температури покриття, забезпечення вільного обміну вологи та повітря у підземному ґрунті, що відповідно приносить користь росту рослин прилеглих територій;
- Збільшення опору ковзання та тертя поверхні, що забезпечить безпечний рух транспорту;
- Зменшення рівня шуму, на відміну від звичайного бетонного покриття. Розглядається як екологічний та переробний будівельний матеріал [18].

### Недоліки проникного бетону

Великі переваги, пов'язані з екологічними, економічними та структурними проблемами, були рушійною силою все більшого застосування проникного бетону у всьому світі. Однак існують також недоліки та проблеми, які не були повністю вирішені, і ці проблеми перешкоджають використанню та влаштуванню проникного бетону. Проте його широке застосування було обмежене суперечливою інформацією та відсутністю єдиних стандартів, що стосуються довговічності, заморожування, міцності та належних вимог щодо використання та конструкції одягу. Недоліки проникного бетону, перелічені нижче, згадуються в міжнародній літературі, і для вирішення цих проблем необхідні додаткові дослідження (Balades et al. 1995), (Bean et al. 2007), (US EPA 1999) [17]:

- Порушаний бетон не справляється з постійним інтенсивним рухом вантажівок та легкових транспортних засобів через низьку міцність на стиск та вигин;
- Великі витрати на обслуговування та очищення покриття. Засмічення поверхні проникного цементобетонного покриття за досить короткий період значно зменшують його початкову дренажну здатність. Дренажна функція може повністю втратитись, якщо не проводити ефективно та своєчасне очищення;
- Стійкість проникного цементобетону до циклів заморожування-розморожування та дії протиожеледних хімікатів значно менша, ніж у звичайного цементобетону;
- Є проблеми з улаштуванням. З різними заповнюючими матеріалами рівень ущільнення також змінюється. Земляне полотно з рівномірною та стабільною поверхнею, належним вмістом вологи та достатньою проникністю є ключовим фактором для відводу води, яка інфільтрується через проникне цементобетонне покриття. Надмірне ущільнення може також спричинити набухання основи дорожнього чи аеродромного одягу.
- Вплив на сусіднє середовище та розвинену територію. Необхідно перешкоджати рухливим відкладенням з околиць або з будівельних майданчиків перекривати пори. Необхідний нагляд повинен бути врахований при розробці. Зокрема, стік з освоєної території, ймовірно, міститиме нижчі рівні навантаження відкладень, що спричинить засмічення
- Початковий захист важливий для тривалого терміну експлуатації пропускового бетонного покриття. Наприклад, попередній бетон слід обробити після закінчення сусідньої ділянки та не допускати руху транспорту на попереднє покриття. Зазвичай це обговорюється під час передбудівельної наради [17].

Встановлено, що ПЦБ знижують вартість життєвого циклу на 30% у порівнянні зі звичайними покриттями зі зливовими стоками. FHWA повідомляє, що вартість встановлення ПЦБ на 15–20% перевищує звичайний цементобетон. В даний час ПЦБ рекомендується використовувати для доріг з низькою інтенсивністю руху, місцевих вулиць, доріжок та проїздів. Продовжуються дослідження щодо розробки високоміцних ПЦБ, які в майбутньому можуть бути використані на автомобільних дорогах та аеродромах.

## Висновки

У роботі розглядається проникний бетон як стійке рішення об'єктів транспортної інфраструктури для міських територій. На основі огляду літератури, проникний бетон можна успішно використовувати при правильному проектуванні, укладанні та обслуговуванні.

Огляд світового досвіду досліджень пористого (дренуючого) цементобетону, улаштування та експлуатації шарів дорожнього та аеродромного одягів з нього показує техніко-економічну доцільність і ефективність їх застосування.

Це матеріал з високою відкритою пористістю, яка забезпечує хороші шумопоглинаючі властивості і дренажну здатність в поєднанні з шорсткістю, рівністю і поперечним тертям

Однак у проникного бетону є деякі проблеми з експлуатаційними характеристиками, в основному менша міцність і довговічність через його пористу структуру та ризик втрати гідравлічної провідності через засмічення сміттям та твердими предметами. Проникний бетон загалом підходить для малогабаритних дорожніх та аеродромних робіт, таких як паркінги, місця стоянок ПС, проїзди, зупинки транспорту, заїзди громадського транспорту для посадки пасажирів, велосипедні доріжки, або тротуари тощо. Однак тут є великі перспективи для дослідження технологічних аспектів, щоб скористатися перевагами та усунути недоліки даного матеріалу, оскільки пористе покриття здається перспективним елементом будівництва для довговічної експлуатації.

## Перелік посилань

1. Павліха Н.В. Модернізація транспортних коридорів в умовах економічної нестабільності / Н.В. Павліха, П.В. Кузьмін // Збірник наукових праць Національного університету державної податкової служби України. – Ірпінь, 2011. Вип.11. С. 404-417..
2. American Concrete Institute. *Pervious Concrete*. ACI Committee 522, technical committee document 522R-06, 2006.
3. Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J. *Pervious Concrete Pavements*. EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004.
4. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови.
5. Радовский Б.С. Вероятностно-геометрический подход к структуре и оценке физико-механических свойств материалов дорожной конструкции. // Новое в проектировании конструкций одежд. М: 1988. С. 37 – 50.
6. Chandrappa A. and Biligiri K. Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: a state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 111: 2016. PP. 262–274.
7. Ланге Ю.Г. Применение пористого (дренирующего) цементобетона при строительстве слоев дорожной одежды. Обзорная информация. [Электронный ресурс] – 2007. – Вып.6. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56228/index.htm> .
8. Deo O. and Neithalath N. A review of sustainable drainage systems (SuDS): a soft option for hard drainage. *Geography*. 88 (2): 2011. PP. 99–107.
9. Nguyen D.H., Sebaibi N., Boutouil M., Leleyter L. and Baurd F. *Wetlands* (third edition). Chichester: Wiley. 2014.
10. Yahia A. and Kabagire D. Hydrologic behaviour of stormwater infiltration trenches in a central urban area during 2/3 years of operation. *Water Science and Technology*, 39 (2): 2014. PP. 217–224.
11. G.L. Sivakumar Babu, Prithvi S. Kandhal, Nivedya Mandankara Kottayi, Rajib Basu Mallick, Amirthalingam Veeraragavan. *Pavement Drainage. Theory and Practice*. New York. CRC Press Taylor & Francis Group. 2019. 243 p.

12. Fu, T.F., Yeih, W., Chang, J.J. and Huang, R. 2014. The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete. *Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, 2014: 17 p.
13. Zhong R., Wille K. Material design and characterization of high performance pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 2015, issue 98 (9), pp.51-60. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027.
14. John T. Kevern. Evaluating Permeability and Infiltration Requirements for Pervious Concrete. – *Journal of Testing and Evaluation*. 2007. PP. 544-553.
15. Kuang X., Sansalone, J., Ying, G. and Ranieri, V. 2010. Pore-structure models of hydraulic conductivity for permeable pavement. *Journal of Hydrology*, 399: PP. 148–157.
16. Illgen, M. 2008. Infiltration and surface runoff processes on pavements: Physical phenomena and modelling. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
17. Illgen, M., Harting, K., Schmitt, T.G. and Welker, A. 2007. Runoff and infiltration characteristics of pavement structures – review of an extensive monitoring program. *Water Science and Technology*, 56 (10): PP. 133–140.
18. Kováč1 M., Sičáková A. Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas / M. Kováč, A. Sičáková // “Environmental Engineering” (27–28.04.2017) 10th International Conference. Lithuania, 2017, pp. 2-8.

### PROSPECTS OF USING PENETRATED CEMENT CONCRETE IN THE CONSTRUCTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

**Gameliak I.**, Doctor of Technical Science (s), National Transport University, Kyiv, Ukraine, [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com)

**Rutkovska I.**, Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, [ria\\_ntu@ukr.net](mailto:ria_ntu@ukr.net)

**Herasimenko A.**, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [alla\\_gerasimenko@ukr.net](mailto:alla_gerasimenko@ukr.net)

**Filishchuk M.**, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [mariaoleksuk6@gmail.com](mailto:mariaoleksuk6@gmail.com)

**Abstract.** This article presents the analysis of the international experience of the use of pervious concrete in transport infrastructure. It provides the advantages and disadvantages of the material and the results of personal laboratory tests of relevant concrete samples.

The object of the research is the use of pervious concrete in the construction of transport infrastructure.

The objective of the paper is to justify the use of pervious concrete in the construction of transport infrastructure by analyzing previous international experience and lab tests of the corresponding concrete samples.

Research methods included a analysis of the international and domestic literature, the evaluation of the experience in the use of the pervious concrete, and laboratory tests of the corresponding concrete samples.

A review of the world experience connected with research of pervious (draining) concrete, installation and operation of layers of aerodrome surface made of it, proved their technical and economic relevance and effectiveness of their application. Pervious concrete is a material with high open porosity, which provides good sound-absorbing properties and drainage ability together with roughness, smoothness, and transverse friction.

These are advantages of pervious concrete pavements, according to foreign studies: a rapid removal of water from the surface of the pavements in case of rain and improved drainage of road and airfield pavements reduce the risk of aquaplaning vehicles and increase traffic safety in rainy weather; increased and stable surface roughness; reduced level of noise provided by vehicles. The draining ability of the pavements makes it almost dry. It also has a high degree of sound absorption.

The results of the article can be implemented in various technologies of construction and repair of transport infrastructure.

The search for the optimal composition of pervious concrete for its further use in the technology of construction and repair of various objects is the main purpose of predictive assumptions about the development of the object of study.

**Keywords:** pervious concrete, road, airfield, road pavement, road surface, water permeability, defects.

### References

1. Pavlihin N.V., Kuzmin P.V. Modernizatsia transportnih koridoriv v umovah ekonomichnoi nestabilnosti [Modernization of transport corridors in conditions of economic instability] – Irpin, 2011. – issue 11, pp. 404-417.
2. American Concrete Institute. *Pervious Concrete*. ACI Committee 522, technical committee document 522R-06, 2006.
3. Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J. *Pervious Concrete Pavements*. EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004.
4. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy.
5. Radovskyi B.S. Veroiatnostno-heometrycheskyi podkhod k strukture y otsenke fyzyko-mekhanycheskykh svoistv materyalov dorozhnoi konstruksyy. // *Novoe v proektyrovanyy konstruksii odezhd*. M: 1988. S. 37 – 50.
6. Chandrappa A. and Biligiri K. Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: a state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 111: 2016. PP. 262–274.
7. Lange Yu. H. Primenenie poristogo (dreniruyushchogo) tsementobetona pri stroitelstve sloev dorozhnoy odezhdy [The use of porous (drainage) cement concrete in the construction of pavement layers. Survey information] – 2007. – issue 6. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56228/index.htm>
8. Deo O. and Neithalath N. A review of sustainable drainage systems (SuDS): a soft option for hard drainage. *Geography*. 88 (2): 2011. PP. 99–107.
9. Nguyen D.H., Sebaibi N., Boutouil M., Leleyter L. and Baurd F. *Wetlands* (third edition). Chichester: Wiley. 2014.
10. Yahia A. and Kabagire D. Hydrologic behaviour of stormwater infiltration trenches in a central urban area during 2/3 years of operation. *Water Science and Technology*, 39 (2): 2014. PP. 217–224.
11. G.L. Sivakumar Babu, Prithvi S. Kandhal, Nivedya Mandankara Kottayi, Rajib Basu Mallick, Amirthalingam Veeraragavan. *Pavement Drainage. Theory and Practice*. New York. CRC Press Taylor & Francis Group. 2019. 243 p.
12. Fu, T.F., Yeih, W., Chang, J.J. and Huang, R. 2014. The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete. *Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, 2014: 17 p.
13. Zhong R., Wille K. Material design and characterization of high performance pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 2015, issue 98 (9), pp.51-60. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027.
14. John T. Kevern. Evaluating Permeability and Infiltration Requirements for Pervious Concrete. – *Journal of Testing and Evaluation*. 2007. PP. 544-553.
15. Kuang X., Sansalone, J., Ying, G. and Ranieri, V. 2010. Pore-structure models of hydraulic conductivity for permeable pavement. *Journal of Hydrology*, 399: PP. 148–157.

16. Illgen, M. 2008. Infiltration and surface runoff processes on pavements: Physical phenomena and modelling. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
17. Illgen, M., Harting, K., Schmitt, T.G. and Welker, A. 2007. Runoff and infiltration characteristics of pavement structures – review of an extensive monitoring program. *Water Science and Technology*, 56 (10): PP. 133–140.
18. Kováčl M., Sičáková A. Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas / M. Kováč, A. Sičáková // “Environmental Engineering” (27–28.04.2017) 10th International Conference. Lithuania, 2017, pp. 2-8.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ З ДВОМА ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ПЛИТАМИ НА ДІЮ УСАДКИ БЕТОНА

## CALCULATION METHOD STEEL REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BRIDGES SPANS WITH TWO REINFORCED CONCRETE SLABS ON THE EFFECT OF CONCRETE SHRINKAGE



*Снитко Валерій Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри "Мости, тунелі та гідротехнічні споруди", Національний транспортний університет, e-mail: [valeriysnytko@ukr.net](mailto:valeriysnytko@ukr.net), тел. 067 751 4373, +380442807978, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218.*

<https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

**Анотація.** У статті розглянута методика розрахунку нерозрізних прогонових будов сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону. До довготривалих процесів, що необхідно враховувати при розрахунку прогонових будов мостів крім повзучості відноситься і усадка бетону.

Нерозрізні прогонові будови сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами над проміжними опорами значно економічніші, за витратами металу, у порівнянні зі сталезалізобетонними мостами з однією плитою. Переріз сталезалізобетонної балки складається зі сталеві частини, що об'єднана з двома залізобетонними плитами. У статті наведено результати розрахунку нерозрізної сталезалізобетонної прогонової будови автодорожнього мосту з двома залізобетонними плитами за наведеною методикою.

**Об'єкт дослідження:** балки прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами.

**Мета роботи.** Розробити методику розрахунку перерізів прогонових будов сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону з урахуванням повзучості.

**Ключові слова:** прогонова будова мосту, сталезалізобетонна балка з двома залізобетонними плитами, усадка бетону, повзучість бетону.

Нерозрізні прогонові будови сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами, що розміщуються над проміжними опорам, значно економічніші, за витратами металу, у порівнянні зі сталезалізобетонними мостами з однією верхньою плитою.

Методику розрахунку такої прогонової будови моста на дію згинального моменту  $M$  і нормативної сили  $N$  з урахуванням повзучості бетону наведено у роботах [3, 4].

Нижче наведемо методику розрахунку прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону.

Розглянемо переріз балки прогонової будови, що наведений на рисунку 1 у роботі [3].

Силкові фактори  $M$  і  $N$  відсутні, враховується лише дія усадки, що характеризується відносною деформацією  $\varepsilon_{yt}$ .

У сталі залізобетонному перерізі усадка бетону стримується арматурою плит і металеві балкою. В результаті в арматурі, металевій балці і в бетоні виникають урівноважені зусилля.

Приймаємо лінійний закон розподілу напружень у бетоні і сталевій частині перерізу по усій висоті сталезалізобетонної балки. Невідомими вважаємо напруження на момент часу  $t$  у бетоні на рівні

центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої плит  $\sigma_{b, yt}^B$  і  $\sigma_{b, yt}^H$ , напруження в арматурі на тих самих рівнях  $\sigma_{r, yt}^B$  і  $\sigma_{r, yt}^H$ , напруження в сталевій балці на рівні верхньої і нижньої фібри  $\sigma_{s2, yt}$  і  $\sigma_{s1, yt}$ .

Припустимо, що невідомі напруження додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо рівняння проєкцій діючих зусиль на вісь балки, рівняння моментів діючих зусиль відносно центру тяжіння арматури нижньої плити, два рівняння спільності деформацій бетону й арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит, два рівняння спільності деформації бетону та верхньої і нижньої фібри сталеві балки, а також рівняння, що випливає із гіпотези плоских перерізів.

Переходимо до складання рівнянь:

1) Рівняння проєкцій ( $\sum X=0$ )

$$\int_{A_{B1}} \sigma_{b, yt}^z \cdot dA_b + \int_{A_{B2}} \sigma_{b, yt}^z \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{s, yt}^z \cdot dA_s + \sigma_{r, yt}^H \cdot A + \sigma_{r, yt}^B \cdot A' = 0; \quad (1)$$

2) Рівняння моментів ( $\sum M=0$ )

$$\int_{A_{B1}} \sigma_{b, yt}^z \cdot Z \cdot dA_b + \int_{A_{B2}} \sigma_{b, yt}^z \cdot Z \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{s, yt}^z \cdot Z \cdot dA_s + \sigma_{r, yt}^B \cdot A' \cdot (h_0 - a') = 0; \quad (2)$$

де  $A_{B1}$  і  $A_{B2}$  - відповідно площі перерізу бетону нижньої і верхньої залізобетонних плит;

$A_s$  – площа перерізу сталеві балки;

$A'$  і  $A$  – відповідно сумарні площі перерізу верхньої і нижньої арматур плит.

Рівняння спільності деформацій записується на основі того, що алгебраїчна сума відносної деформації усадки бетону  $\epsilon_{yt}$  і відносна деформація бетону  $\epsilon_{b, yt}$ , що викликана усадковими напруженнями, дорівнює відноській деформації арматури. Теж відноситься і до сталеві балки.

Тоді

$$\epsilon_{yt} + \epsilon_{b, yt} = \epsilon_{r, yt}; \quad (3)$$

$$\epsilon_{yt} + \epsilon_{b, yt} = \epsilon_{s, yt}; \quad (4)$$

Враховуємо, що у початковій момент часу  $t=0$  з якою починається врахування усадки, напруження не виникають, тоді записуємо

$$\epsilon_{yt} + \int_0^t \frac{d\sigma_{b, yt}}{d\tau} \cdot \left( \frac{1}{E_r} + C_{tt} \right) d\tau = \frac{\sigma_{r, yt}}{E_r}; \quad (5)$$

Застосовуючи модифіковану теорію старіння [2] бетону і формулу

$$\epsilon_{bt} = \frac{1}{E_{b0}} \cdot (\sigma_{b0} \cdot K_1 + \sigma_{bt} \cdot K_2), \text{ та}$$

враховуючи, що  $\sigma_{b, y0} = 0$ , маємо

$$\epsilon_{b, yt} = \frac{\sigma_{b, yt} \cdot K_2}{E_{b0}}; \quad (6)$$

де  $E_{b0}$  - початковий модуль пружності бетону;

$K_1$  і  $K_2$  – коефіцієнти, що враховуються за формулами наведеними в [2] при прийнятті лінійної залежності.

$C_{t\tau}$  – міра повзучості бетону. Між напруженнями у бетоні у момент часу  $\tau$   $\sigma_{b\tau}$  і характеристикою повзучості бетону  $\varphi_t$  приймаємо лінійну залежність.

Тоді, рівняння спільності деформацій арматури і бетону будуть:

$$\sigma_{r,yt}^B = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^B; \quad (7)$$

$$\sigma_{r,yt}^H = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^H; \quad (8)$$

Рівняння спільності деформацій на рівні верхньої і нижньої межі сталеві балки і бетону :

$$\sigma_{s2,yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^{S2}; \quad (9)$$

$$\sigma_{s1,yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^{S1}; \quad (10)$$

Величина  $\varepsilon_{yt}$  - це деформація стиснення, тому її приймаємо з від'ємним знаком.

Підставляючи вирази (7), (8), (9) і (10) у рівняння рівноваги (1) і (2) і замінюючи  $\sigma_{b,yt}^Z$  дивись роботу [3] його значенням із формули (1), а  $\sigma_{s,yt}^Z$  із формули (4) з врахуванням формул (2) і (3) маємо:

$$1) \beta_1 \cdot \sigma_{b,yt}^B + \gamma_1 \cdot \sigma_{b,yt}^H + E_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot m_{11} = 0; \quad (11)$$

$$2) m_5 \cdot \sigma_{b,yt}^B + m_6 \cdot \sigma_{b,yt}^H + E_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot m_{12} = 0; \quad (12)$$

Значення  $\beta_1, \gamma_1, m_5$  і  $m_6$  визначають за [3] формулами (22), (23), (25) і (26).

$$\text{де } m_{11} = \frac{D'+F'}{n_r} + A + A'; \quad (13)$$

$$m_{12} = \frac{[V'+B']}{n_r} + A' \cdot (h_0 - a'); \quad (14)$$

Тоді напруження у бетоні на момент часу  $t$  в центрах тяжіння верхньої і нижньої залізобетонних плит від усадки бетону з урахуванням повзучості будуть:

$$\sigma_{b,yt}^B = \eta_{yt}^B \cdot E_r \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (15)$$

$$\sigma_{b,yt}^H = \eta_{yt}^H \cdot E_r \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (16)$$

$$\text{де } \eta_{yt}^B = \frac{\gamma \cdot m_{12} - m_{11} \cdot m_6}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (17)$$

$$\eta_{yt}^H = \frac{m_5 \cdot m_{11} - \beta_1 \cdot m_{12}}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (18)$$

Напруження в арматурі визначають за формулами (7) і (8).

Для попередньо-напруженої арматури ці значення будуть становити втрати попереднього напруження, що виникають у наслідок усадки бетону.

Напруження у бетоні попередньо-напружених плит, що знайдені за формулами (15) і (16) будуть сумарними від самої усадки бетону і викликаних нею втрат напружень в арматурі.

Напруження у бетоні на рівні верхньої і нижньої межі сталеві балки від усадки бетону:

$$\sigma_{b, yt}^{S2} = \sigma_{b, yt}^B \cdot \frac{(h_0 - c')}{(h_0 - a')} + \sigma_{b, yt}^H \cdot \frac{(c' - a')}{(h_0 - a')}; \quad (19)$$

$$\sigma_{b, yt}^{S1} = \sigma_{b, yt}^B \cdot \frac{(-d)}{(h_0 - a')} + \sigma_{b, yt}^H \cdot \frac{(h_0 - a' + d)}{(h_0 - a')}; \quad (20)$$

Напруження в металевій балці від усадки бетону:

на рівні верхньої межі

$$\sigma_{s2, yt} = E_{st} \cdot \epsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S2}; \quad (21)$$

на рівні нижньої межі

$$\sigma_{s1, yt} = E_{st} \cdot \epsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S1}; \quad (22)$$

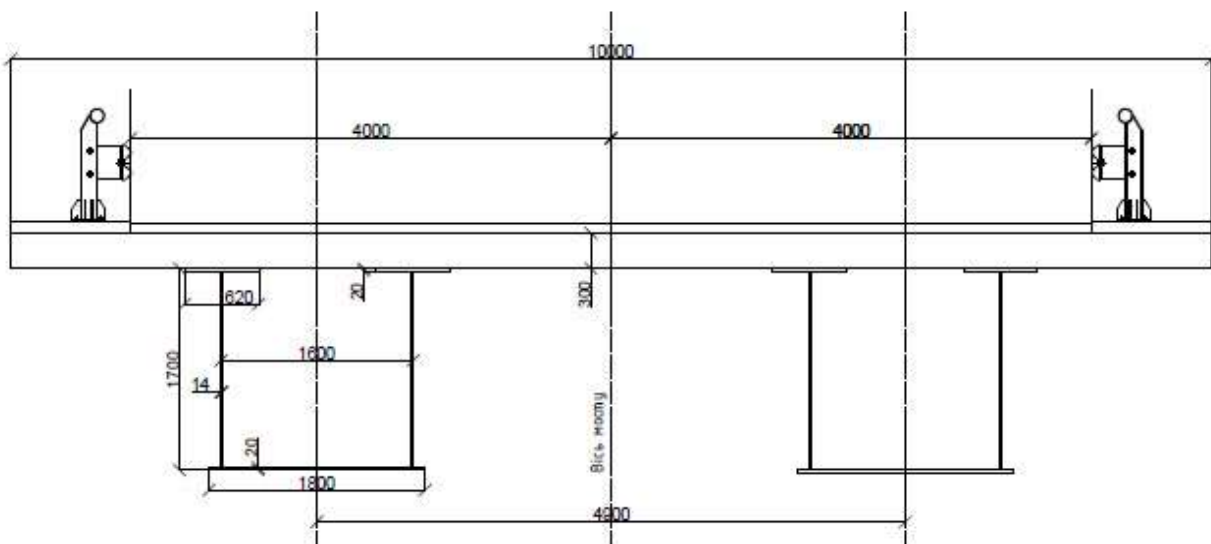


Рисунок 1 – Поперечний переріз прогонової будови мосту в середині крайнього прогону  
Figure 1 – Cross section of the runway structure of the bridge in the middle of the last span of bridge

При розрахунку нерозрізної прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами, за схемою 3x33м, габаритом Г-8,0м (див. рис.1), за наведеною методикою, напруження від усадки бетону з врахуванням повзучості, при прийнятті характеристики повзучості  $\varphi_t = 1,82$  і відносній деформації усадки бетону  $\epsilon_{yt} = 2,68 \cdot 10^{-4}$  склали у перерізі над проміжною опорою: у бетоні на рівні центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит

$$\sigma_{b, yt}^B = 1,37 \text{ МПа}; \text{ (розтяг)};$$

$$\sigma_{b, yt}^H = 3,05 \text{ МПа}; \text{ (розтяг)}.$$

Напруження у бетоні на рівні верхньої межі сталеві балки і умовні напруження у бетоні на рівні нижньої межі сталеві балки:

$$\sigma_{b, yt}^{S2} = 1,51 \text{ МПа}; \text{ ("розтяг")};$$

$$\sigma_{b, yt}^{S1} = 3,19 \text{ МПа}; \text{ ("розтяг")}.$$

Напруження в арматурі на рівні центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит

$$\sigma_{r,yt}^b = -34,46 \text{ МПа; (стиск);}$$

$$\sigma_{r,yt}^H = -11,0 \text{ МПа; ("стиск")}$$

Напруження в сталевій балці на рівні верхньої і нижньої межі її

$$\sigma_{s2,yt} = -34,1 \text{ МПа; (стиск);}$$

$$\sigma_{s1,yt} = -9,4 \text{ МПа; (стиск).}$$

Це говорить про необхідність врахування усадки бетону при визначенні напружено-деформованого стану сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

### Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – К: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.
2. Л.Д. Лившиц. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона. К: Издательское объединение “Вища школа”, 1975.
3. Снитко В.П. Інформаційні технології розрахунку сталезалізобетонних конструкцій мостів з двома залізобетонними плитами. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 97. К.:НТУ, 2016.
4. Снитко В.П. Розрахунок сталезалізобетонних нерозрізних прогонових будов мостів з двома залізобетонними плитами на дію нормальної сили з урахуванням повзучості. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 100. К.:НТУ, 2017.
5. Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів: навч. Посібник. – К.:НТУ, 2005.
6. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів: навч. Посібник. – К.:НТУ, 2010.
7. Розрахунки і проектування мостів: навч. посібник, за редакцією д-ра техн. наук А.Лантух-Лященко, том. 1.-К.:НТУ, 2007.
8. ДБН В.2.3.-26:2010. Мости та труби. Правила проектування. – К: Мінрегіонбуд України, 2011.

### CALCULATION METHOD STEEL REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BRIDGE SPANS WITH TWO REINFORCED CONCRETE SLABS ON THE EFFECT OF CONCRETE SHRINKAGE

**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](mailto:valeriysnytko@ukr.net), тел. +380442807978, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1. <https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

**Summary:** The article is considered calculation method steel reinforced concrete continuous bridge spans with two reinforced concrete slabs on the effect of concrete shrinkage. For long-term processes that must be considered when calculating the span structures of bridges, besides creep, concrete shrinkage applies.

**Object of study:** composite steel and concrete span beam bridge with two reinforced concrete slabs.

**Purpose:** to develop a calculation method the cross section steel reinforced concrete bridges with two reinforced concrete slabs on the effect of concrete shrinkage considering concrete creep.

Continuous spans of steel reinforced concrete bridges with two reinforced concrete slabs over intermediate supports much more economically, in terms of metal consumption, compared to steel reinforced concrete bridges with one concrete slab. Cross section of a reinforced reinforced concrete beam consists of a steel part that combined with two reinforced concrete slabs. The article presents the results of the calculation of continuous steel-concrete superstructure of a road bridge with two reinforced concrete slabs by the above method.

### References

- 1.DBN V.2.3-14:2006. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva, 2006.
2. L.D. Livshits. Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom vliyaniya usadki i polzuchesti betona. K: Izdatel'skoye ob'yedineniye “Vishcha shkola”, 1975.
3. Snytko V.P. Informatsiyi tekhnolohiyi rozrakhunku stalezalizobetonnykh konstruksiy mostiv z dvoma zalizobetonnymy plytamy. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo», vyp. 97. K.:NTU, 2016.
4. Snytko V.P. Rozrakhunok stalezalizobetonnykh nerozriznykh prohonovykh budov mostiv z dvoma zalizobetonnymy plytamy na diyu normal'noyi syly z urakhuvannyam povzuchosti. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo», vyp. 100. K.:NTU, 2017.
5. Snytko V.P. Proektuvannya stalezalizobetonnykh mostiv: navch. Posibnyk . – K.:NTU, 2005.
6. Snytko V.P. Proektuvannya ta rozrakhunok prohonovykh budov metalevykh mostiv: navch. Posibnyk. – K.:NTU , 2010.
7. Rozrakhunky i proektuvannya mostiv: navch. posibnyk, za redaktsiye d-ra tekhn. nauk A.Lantukh-Lyashchenka, tom. 1.-K.:NTU, 2007.
8. DBN V.2.3.-26:2010. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Minrehionbud Ukrayi-ny, 2011.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА КВАНТИЛЬНОЇ РЕГРЕСІЇ В ЗАДАЧАХ ГІДРОЕКОЛОГІЇ

## FEATURES OF THE APPLICATION OF THE METHOD OF QUANTILE REGRESSION IN PROBLEMS OF HYDROECOLOGY



*Артеменко Владислав Андрійович, магістр екології, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, науковий співробітник відділу гідрохімії, e-mail: [artemenko@uhmi.org.ua](mailto:artemenko@uhmi.org.ua), тел. 380936011250, Україна, 03028, м. Київ, просп. Науки 37, к.34.*

<https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>



*Петровиц Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: [petrovichvv60@ukr.net](mailto:petrovichvv60@ukr.net), тел. +380442807338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.,*

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

**Анотація.** Наведені особливості застосування методу квантильної регресії в задачах гідроекології. Визначені переваги кусочної квантильної регресії при обробці вихідних даних.

**Ключові слова:** гідрохімічні часові ряди, обробка вихідних даних, квантильна регресія, особливості кусочної квантильної регресії.

### Вступ

В сучасний період при дослідженнях в області екології найбільш часто використовується регресія на основі методу найменших квадратів (МНК). Однак, як відомо, МНК диктує гранично жорсткі вимоги до властивостей вхідних даних і проявляє невиправдано підвищену чутливість до аномальних значень, які характерні для природних часових рядів. У зв'язку з цим при аналізі і прогнозі різних екологічних часових рядів більш виправдано використання робастних методів регресії, які будуть в тому числі слабо чутливі до різного роду аномалій у вихідних даних.

В роботі [1] на конкретних прикладах були розглянуті особливості застосування простого методу робастної лінійної регресії - методу KENDALL\_THEIL\_ROBUST\_LINE (KTRL) - в гідроекології.

Разом з цим, з точки зору "глибини дослідження", методи лінійної регресії мають той недолік, що з даних видобувається занадто мало корисної інформації.

Перехід від лінійної регресії до регресії нелінійної може в значній мірі збільшити ефективність досліджень різних процесів [2].

У зв'язку з цим для дослідників значно перспективнішими є методи квантильної регресії [3,4].

**Головна мета роботи** - розглянути, яким чином квантильна регресія може знайти своє застосування на практиці.

Для цього в якості об'єкта дослідження були обрані гідрохімічні ряди, для аналізу яких ефективний метод квантильної регресії практично не використовувався.

Обговорюються переваги розробленого авторами методу кусочної квантильної регресії.

**Загальні положення**

У статті розглядається аналіз природних даних за допомогою методу квантильної регресії. Фахівці, які працюють з реальними даними, давно відзначали той факт, що аномальні значення (так звані "викиди") адекватно врахувати в моделях, побудованих на основі методу найменших квадратів (МНК), просто неможливо.

При цьому, якщо в даних присутні аномалії, мінімізація абсолютних відхилень буде більш перспективна, ніж метод МНК.

Як відомо, загальна ідея регресійного аналізу - це знаходження деяких "середніх" значень залежних змінних від змінних незалежних.

Будучи залежністю тільки одного параметра розподілу, а саме "середнього", регресійна функція повною мірою не буде відображати вплив всіх незалежних змінних на змінні залежні.

Відповідно, кілька регресійних кривих для різних частин розподілу дозволяють отримувати більш повну картину залежностей.

Вкрай спрощено це можна вважати характерною властивістю квантильної регресії.

На даний час добре відомий такий метод робастної регресії як "медіанна" регресія, де в якості "середнього" виступає медіана (або 0,5 квантиль). За аналогією можна взяти також набір будь-яких інших квантилів.

Зазвичай беруть наступний набір квантилів: 0.05; 0.10; 0.25; 0.50; 0.75; 0.90 і 0.95.

Таким чином, метод квантильної регресії при аналізі трендів дозволяє отримати інформацію по всьому діапазоні значень квантилів від нуля і до одиниці розподілу залежної змінної. Завдяки цьому отримують значно більше інформації, ніж при використанні методів лінійної робастної регресії (таких, наприклад, як метод KTRL [1]).

Як відомо, МНК - регресія, по-суті, є вирішенням задачі мінімізації залишкової суми квадратів:

$$\underset{\mu \in R}{\text{ARGMIN}} \left( \sum_{j=1}^{j=N} (Y_j - \mu)^2 \right), \quad (1)$$

де  $Y_j$  – значення спостереження з вибірки обсягу  $N$ ,  
 $\mu$  – вибіркоче середнє, що оцінюється за цією вибіркою.

Відповідно, подібний пошук для медіани може бути здійснений за допомогою мінімізації суми абсолютних залишків.

Тоді говорять про медіанну регресію.

Знаходження квантиля  $Q$  заданого порядку  $\tau$  можна розглядати як пошук аргументу мінімуму спеціальної цільової функції

$$\underset{Q \in R}{\text{ARGMIN}} \left( \sum_{j=1}^{j=N} \rho_{\tau}(Y_j - Q) \right), \quad (2)$$

В даному випадку  $\rho_{\tau}$  – функція, яка забезпечує  $\tau$  – баланс спостережних значень:

$$\rho_{\tau}(U) = \begin{cases} \tau \cdot U & \text{при } U \geq 0 \\ (\tau - 1) \cdot U & \text{при } U < 0 \end{cases} \quad (3)$$

У звичайному регресійному аналізі оцінка параметрів  $\rho$  регресійної функції є вирішенням оптимізаційної задачі

$$\underset{\beta \in R}{\text{ARGMIN}} \left( \sum_{j=1}^{j=N} \left( Y_j - \mu(X_j; \beta) \right)^2 \right). \quad (4)$$

За аналогією з регресійним аналізом можливо ввести квантильно-регресійні функції, кожна з яких представляє собою деяку регресію умовної квантилі.

У цьому випадку побудова квантильно-регресійних моделей можливо розглядати як задачу оцінки параметрів функцій  $v(X_j; \beta)$  і знаходити рішення мінімізацією

$$\underset{\beta \in R}{\text{ARGMIN}} \left( \sum_{j=1}^N \rho_{\tau} \left( Y_j - v(X_j; \beta) \right) \right). \quad (5)$$

Вирішення даної мінімізаційної проблеми, коли  $v(X_j; \beta)$ - лінійна функція з невідомими параметрами, ефективно здійснюється методами лінійного програмування.

Так, задачі із використанням МНК вирішуються через добуток матриць.

Реалізувати квантильну регресію значно складніше, ніж МНК.

Програмно використовується досить складна реалізація із застосуванням процедури мінімізації функції однієї або декількох змінних.

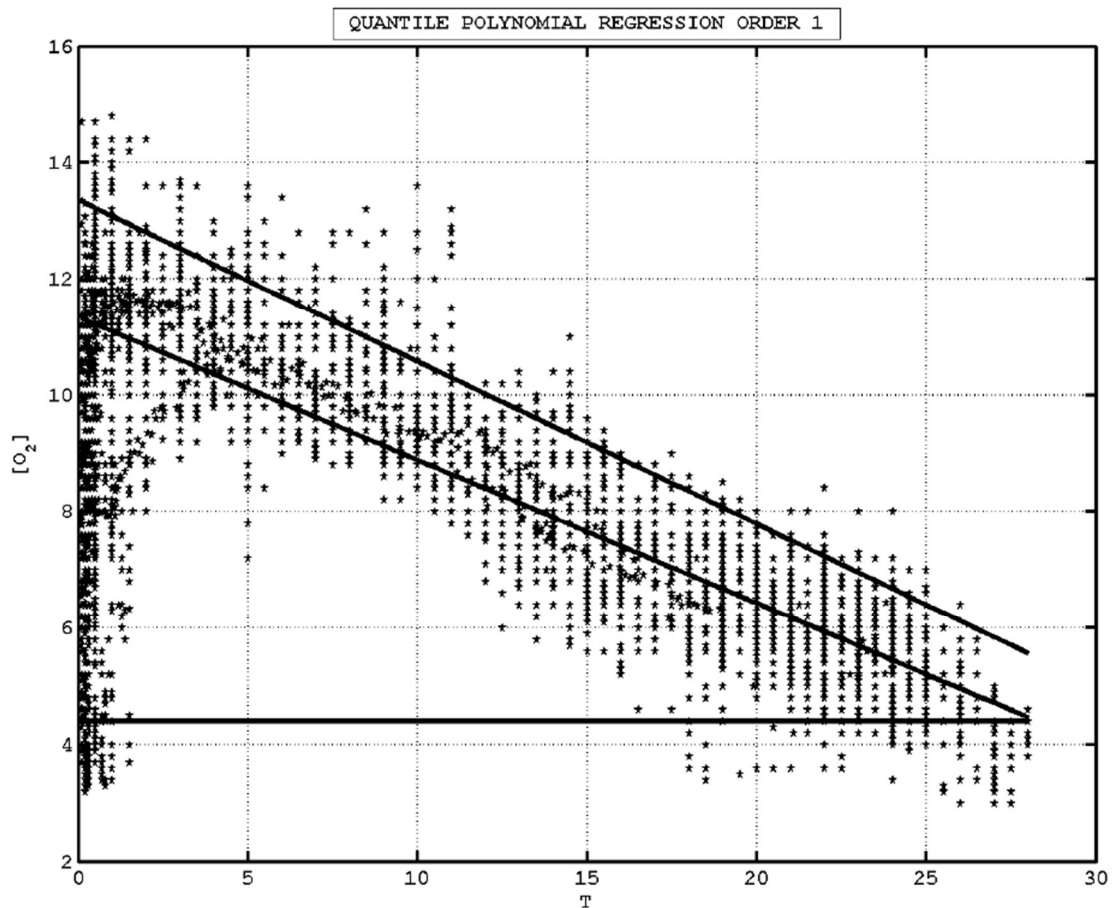


Рисунок 1 - Проведення ліній лінійної квантильної регресії (поліном першого ступеня) через облако експериментальних даних для оцінки залежності концентрації розчиненого кисню від температури річкової води.

Figure 1 - Drawing lines of linear quantile regression (polynomial of the first degree) through the "cloud" of experimental data for the dependence of the concentration of dissolved oxygen on the temperature of river water.

Процедура квантильної регресії реалізована, наприклад, в безкоштовній програмі GRETLM.

При цьому слід зважати на різноманітні “Керівництва” по роботі з GRETЛ.

Автори розробили власну процедуру на мові програмування MATLAB, яка реалізує метод квантильної регресії зі значно більшими можливостями, ніж GRETЛ.

**Дослідження поведінки розчиненого кисню у водних об'єктах методом квантильної регресії.**

При дослідженні були використані вихідні середньодобові дані за період 1995 ... 2010 роки (без пропусків) концентрації розчиненого кисню в річковій воді і воді водосховища, мг/л, температурі води, °С, витрат річкової води, м<sup>3</sup>/с.

Для всіх випадків побудовані графіки для квантилів 0.05, 0.50 і 0.95.

На графіках наведені вихідні дані у вигляді облака точок і ліній регресії для відповідних значень квантилів.

При цьому верхня лінія регресії - для значення  $Q = 0.95$ , середня лінія - для  $Q = 0.50$  і нижня лінія - для  $Q = 0.05$ .

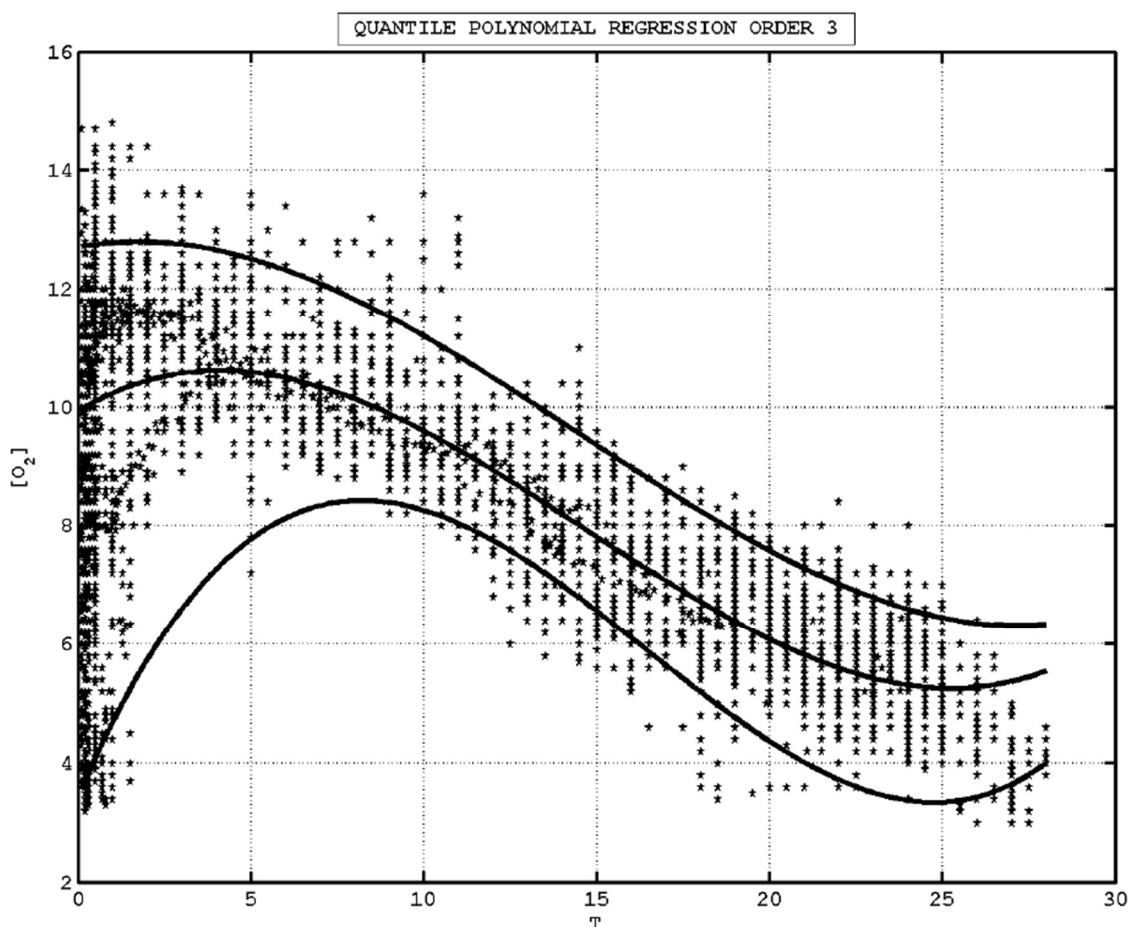


Рисунок 2 - Проведення ліній регресії через облако експериментальних даних для залежності концентрації розчиненого кисню від температури річкової води за допомогою методу квантильної регресії (поліном третього ступеня).

Figure 2 - Drawing the lines of quantile regression (polynomial of the third degree) through the "cloud" of experimental data for the dependence of the concentration of dissolved oxygen on the temperature of river water.

На рис.1 представлені лінії лінійної квантильної регресії (поліном першого ступеня) для залежностей концентрації кисню від температури річкової води. Як видно, якщо при даній температурі

води спостерігається велика ( $Q = 0.95$ ) або навіть середня ( $Q = 0.50$ ) концентрація кисню, використання прямолінійної залежності для ліній регресії буде більш-менш обґрунтованою.

В цьому випадку отримуємо класичну картину поведінки кисню, коли з підвищенням температури води концентрація розчиненого кисню зменшується.

Однак таку картину "псують" аномалії, які мають місце при температурах води від значення  $00\text{C}$  і до приблизно  $+2,50\text{C}$ .

Тоді спостерігається так званий "кисневий парадокс", коли при збільшенні температури води в цих межах збільшується і кількість розчиненого у воді кисню. Зрозуміло, що насправді парадоксу немає, якщо враховувати можливість утворення льоду на поверхні води.

Про такі явища можна говорити тільки при наявності дуже малих концентрацій розчиненого у воді кисню ( $Q = 0.05$ ), коли кисень не надходить у воду з повітря і витрачається виключно на різні окислювані процеси.

При великих і середніх концентраціях розчиненого кисню льоду на поверхні водного об'єкта, як правило, немає, тобто кисень вільно надходить у воду з повітря.

Таким чином, для малих концентрацій розчиненого кисню пряма лінія, як обвідна облака експериментальних точок, однозначно не підходить.

У зв'язку з цим збільшимо ступінь полінома квантильної регресії до двох.

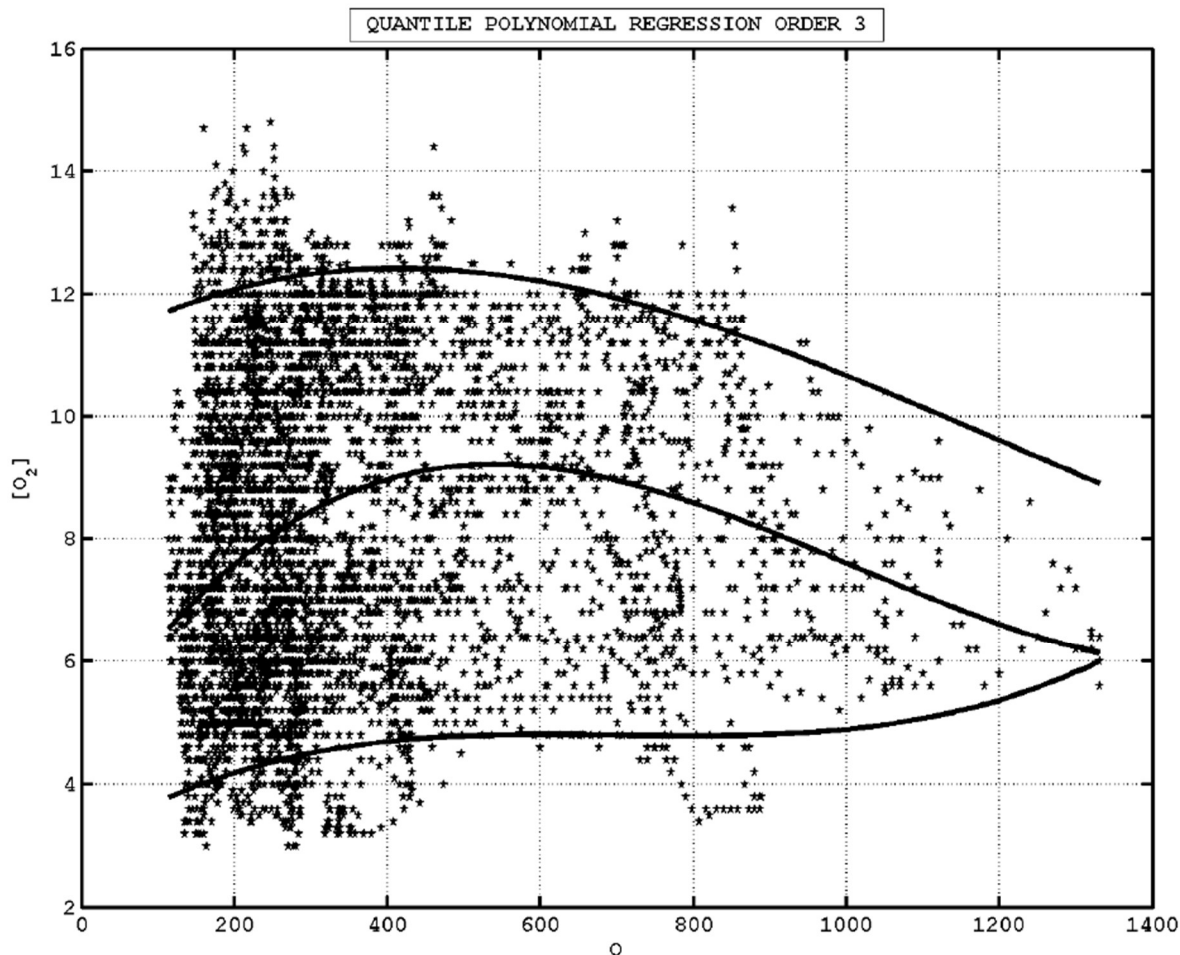


Рисунок 3 - Графік залежності концентрації розчиненого кисню від витрат річкової води, отриманий за допомогою квантильної регресії (поліном ступеня 3).

Figure 3 - A graph of the dependence of the concentration of dissolved oxygen on the flow rate of river water, obtained using quantile regression (regression polynomial 3).

Однак, як виявилось, в разі використання полінома другого порядку нижня обвідна також описується не зовсім коректно.

На рис. 2 наведені дані, отримані за допомогою квантильної регресії для полінома третього порядку.

Як видно, в даному випадку нижня обвідна експериментальних точок описується вже досить адекватно.

Подальше підвищення ступеня полінома не дало принципового поліпшення опису нижньої обвідної.

У зв'язку з цим графіки квантильної регресії для ступеня полінома більше трьох не будували.

Аналіз графіків, що характеризують інший природний водний об'єкт - водосховище, показав, що ми маємо, по-суті, схожі явища і в цьому випадку.

На рис. 3 наведений графік залежності концентрації розчиненого кисню від витрат річкової води, отриманий за допомогою квантильної регресії, для крупної рівнинної річки України (використаний поліном ступеня 3).

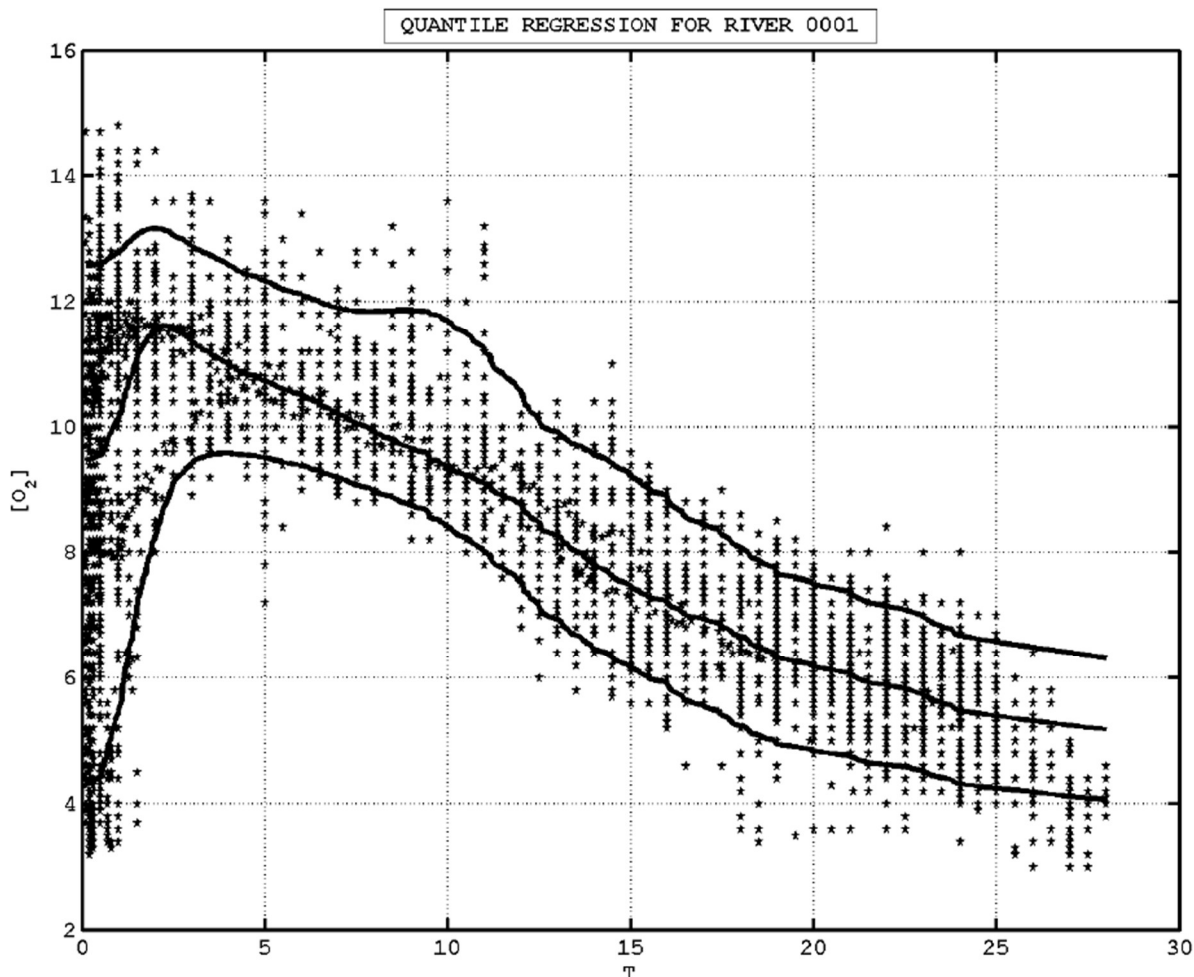


Рисунок 4 - Графік залежності концентрації розчиненого кисню від температури річкової води, отриманий за допомогою методу кусочної квантильної регресії (ступінь полінома 3).

Figure 4 - The graph of the dependence of the concentration of dissolved oxygen on the temperature of river water, obtained using the method of piecewise quantile regression (polynomial degree equal to 3).

У даному разі можливо говорити про те, що для квантилей  $Q = 0.50$  та  $Q = 0.95$  маємо максимум концентрацій розчиненого кисню при середніх витратах води (див. графік). Для квантилі  $Q = 0.05$  спостерігається незначне зростання концентрації розчиненого кисню залежно від зростання витрат води.

### Особливості реалізації методу кусочної квантильної регресії

Далі розглянемо додаткові можливості методу квантильної регресії, не торкаючись самої сутності методу, але які дозволяють найбільш адекватно описувати експериментальні дані.

Раніше ми будували поліноміальну квантильну регресію для всіх наявних експериментальних точок відразу.

Тепер розіб'ємо всю множину значень незалежної змінної на ряд інтервалів рівної довжини. Потім для кожного такого інтервалу застосуємо окремо квантильну регресію з поліномом ступеня 3.

У цьому випадку виникають певні складнощі на стадії програмної реалізації такого підходу. Перша складність полягає у виборі кількості оптимальних сегментів, на які треба "розбити" вихідні дані. Інша складність полягає в "правильному сполученні" різних сегментів на їхніх кордонах.

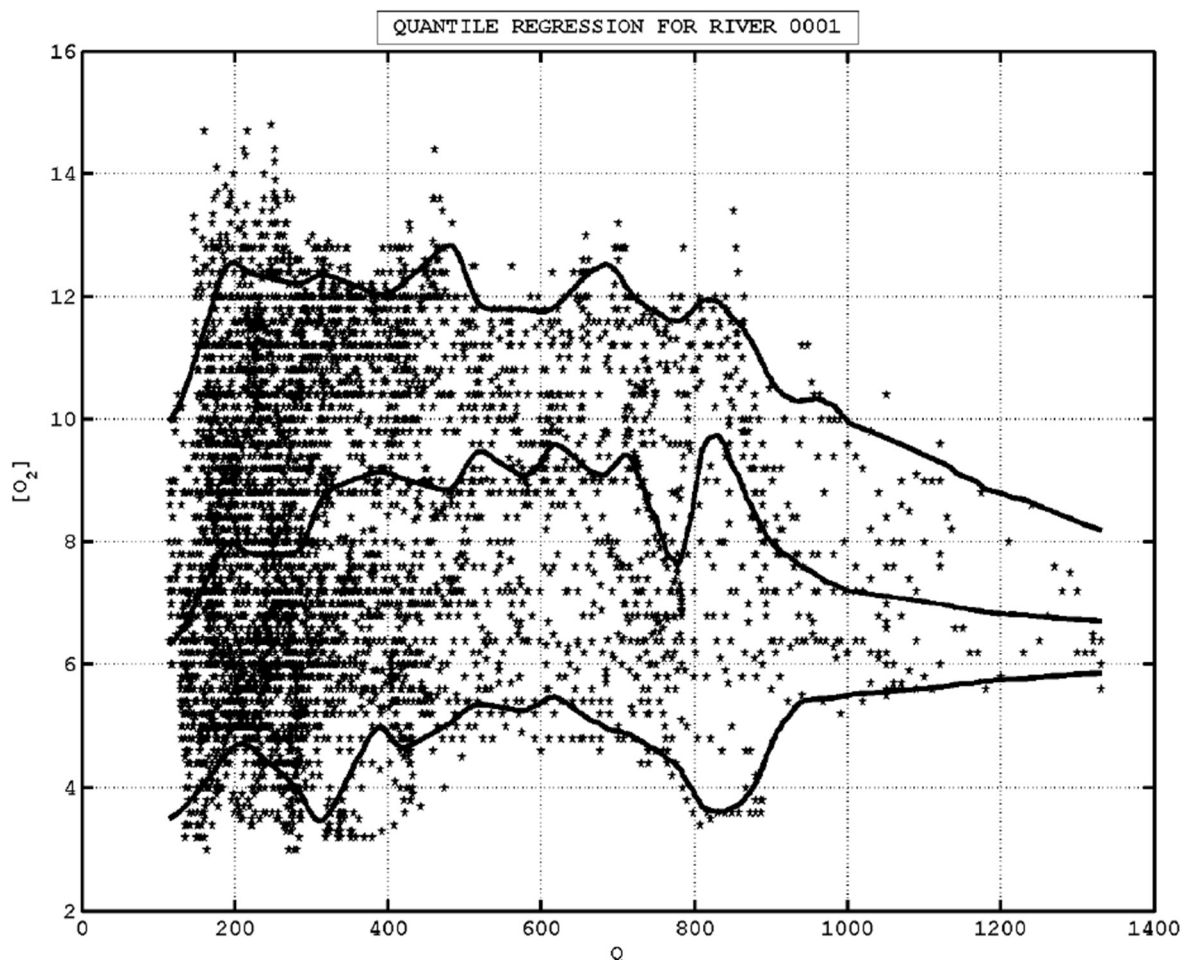


Рисунок 5 - Графік залежності концентрації розчиненого кисню від витрат річкової води, отриманий за допомогою методу кусочної квантильної регресії (ступінь полінома 3).

Figure 5 - The graph of the dependence of the concentration of dissolved oxygen on the flow rate of river water, obtained using the method of piecewise quantile regression (polynomial degree equal to 3).

Ці завдання були успішно вирішені (в статті не розглядаються).

При цьому кожному сегменту незалежної змінної вибираємо відповідні значення змінної залежної.

При дослідженні залежності концентрації розчиненого кисню від температури води для різних квантилів ширина сегмента приймалась рівною  $0.50^{\circ}\text{C}$ , при дослідженні залежності концентрації розчиненого кисню від витрат води ширина сегмента була  $25\text{м}^3/\text{с}$ .

На рис. 4 наведені результати залежності концентрації розчиненого кисню від температури річкової води за допомогою методу кусочної квантильної регресії, на рис. 5 - результати залежності концентрації розчиненого кисню від витрат річкової води (ступінь полінома дорівнює 3).

Як видно, обробка експериментальних даних виходить значно краще, ніж при використанні звичайного методу квантильної регресії.

### Висновки

1. Коротко розглянута сутність методу квантильної регресії і ті переваги, які вона дає при аналізі природних даних.
2. За допомогою методу квантильної регресії досліджено поведінку розчиненого кисню в залежності від температури та витрат річкової води при квантилях 0,95; 0,50 і 0,05 відповідно.
3. Як показали числові експерименти, одним з перспективних методів аналізу гідроекологічних процесів є розроблений авторами метод кусочної квантильної регресії.

### Перелік посилань

1. Артеменко В.А. Сезонна динаміка біогенних речовин крупних водних об'єктів/В.А. Артеменко, В.В. Петрович// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 104. –К.: Вид-во Націон. трансп. ун-ту. – 2018. – С. 31-43.
2. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. – М.: Мир. – 1993. –349 с.
3. Koenker R. Quantile Regression. – Cambridge University Press. –2005. –366 p.
4. Hao L. Quantile Regression/ L. Hao, D. Naiman. – Sage Publications Inc. -2007. – 137 p.

### FEATURES OF THE APPLICATION OF THE METHOD OF QUANTILE REGRESSION IN PROBLEMS OF HYDROECOLOGY

**Artemenko Vladislav A.**, Master of Ecology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, Hydrochemical Research, Scientific Employee, e-mail: [artemenko@uhmi.org.ua](mailto:artemenko@uhmi.org.ua), tel. 380936011250, Nauki avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03028, room 34, <https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>

**Petrovych Volodymyr V.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: [petrovichvv60@ukr.net](mailto:petrovichvv60@ukr.net), tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

**Abstract.** Such perspective method of the analysis of the natural time series is considered in article as method of quantile regression. They are discussed imperfection existing methods of the analysis of the natural processes (least square method and the method of linear robust regression). It is shown that transition towards quantile regression allows greatly to raise efficiency of the investigations of the natural time series. Main goal of the work consists in practical applications of the quantile regression method for decision of the different problems of the hydroecology.

Hydrochemical time series were considered in article. By means of quantile regressin method was investigated behavior of the dissolved oxygen in water depending on temperature of river water and depending

on discharge of river water (for quantiles of order 0.05; 0,50 und 0,95). When performing the investigations more perfect method of quantile regression was designed such as method piecewisf quantile regression (with uce polynomial degree 1; 2; 3).

Numerical experiments when use the natural time series have shown greater advantage of the designed method of piecewise quantile regression in contrast with classical method of quantile regression.

**Keywords:** hydrochemical time series, original data processing, quantile regression, features of piecewise quantile regression.

#### References

1. Artemenko V.A. Sezonna dynamika biohennykh rehovyn krupnykh vodnykh ob'yektiv/V.A. Artemenko, V.V. Petrovych// Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, vyp. 104. –K.: Vyd-vo Natsion. transp. un-tu. – 2018. – С. 31-43.
2. Khardle V. Prikladnaya neparametricheskaya regressiya. – M.: Mir. – 1993. –349 с.
3. Koenker R. Quantile Regression. – Cambridge University Press. –2005. –366 p.
4. Hao L. Quantile Regression/ L. Hao, D. Naiman. – Sage Publications Inc. -2007. – 137 p.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ В ОЦІНЦІ НЕРУХОМОСТІ

## RESEARCH OF ENVIRONMENTAL RISK FACTORS IN ESTIMATION OF REAL ESTATE



*Бондаренко Людмила Петрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра транспортного будівництва та управління майном, доцент, [luda\\_bond@ukr.net](mailto:luda_bond@ukr.net), тел. +380442803942,*

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



*Кушнірова Оксана Миколаївна, Національний транспортний університет, кафедра транспортного будівництва та управління майном, старший викладач, [kushnirovao@gmail.com](mailto:kushnirovao@gmail.com), тел. +380442803942,*

*<https://orcid.org/0000-0001-6011-5609>*

**Анотація.** В роботі проводиться дослідження факторів екологічного ризику, що визначають вартість об'єктів нерухомості та прийняття оціночних рішень. Визначено, що об'єктом сукупного впливу екологічного ризику виступають компоненти навколишнього середовища, а опосередковано через них безпосередньо об'єкти нерухомості і людина. Серед всіх компонентів навколишнього середовища найбільш визначальним є атмосфера, так як шкідливі речовини, що надходять з атмосферним повітрям в організм людини поглинаються найбільш інтенсивно. За головний критерій оцінки екологічного ризику прийнято ступінь впливу шкідливих речовин на здоров'я населення. Проведено систематизацію факторів екологічного ризику, що передбачає аналіз причин, джерел і значимості негативного матеріального і фізичного впливу на досліджуваній території з виділенням двох якісно різних видів екологічного ризику: прямого і непрямого. Наведено як позитивні, так і негативні екологічні фактори, що впливають на вартість об'єктів нерухомості. Екологічний ризик запропоновано визначати в рамках імовірного підходу щодо оцінки погіршення життєдіяльності внаслідок прояву детермінованих і стохастичних ефектів при забрудненні навколишнього середовища, що оточує об'єкт нерухомості. Визначено залежності для кількісної оцінки величини прямих та непрямих екологічних ризиків. Розроблено концептуальні основи для об'єктивного врахування негативних екологічних факторів матеріальної і фізичної природи на забудованих територіях.

**Ключові слова:** екологічний ризик, нерухомість, об'єкт оцінки, управлінські рішення

**Вступ.** Сучасний ринок нерухомості є досить мінливим та має постійну тенденцію до ускладнення. З'являються нові фінансові інструменти, змінюються нормативні документи, виникають нові правові форми володіння об'єктами нерухомості. У міру подібної еволюції номінальна сума, що виплачується за власність, набуває все меншого значення як показник вартості. Інвестори усвідомлюють, що вони купують не лише нерухомість, але також і певний набір умов. Як наслідок, для визначення ринкової вартості нерухомості необхідно вносити суттєві зміни в ціни, які виплачуються за власність.

На думку західних вчених [1], вартість об'єктів житлової та нежитлової нерухомості прямо залежить від рівня забруднення навколишнього природного середовища. Проте в реаліях української економіки при укладанні договорів із продажу чи оренди нерухомого майна не завжди відображається

вплив екологічного фактору на ціну об'єкту. Це пов'язано з економічною кризою в країні, зниженням цінності екологічних благ та невисоким рівнем культури контрагентів.

У той же час забруднення навколишнього природного середовища, крім проблем, що пов'язані із погіршенням здоров'я населення, призводить до зниження вартості нерухомості, додаткових витрат, пов'язаних із ліквідацією наслідків забруднення, зниження вартості природних ресурсів тощо. Ця проблема вже почала виходити за межі окремих держав та економік і нині представляє глобальну загрозу майбутньому довгостроковому економічному розвитку. Усе це вимагає перегляду існуючих підходів щодо оцінки екологічних факторів та ризиків, пов'язаних з оцінкою нерухомості з метою розробки нових, адекватних сучасним реаліям підходів щодо розвитку економіки.

Складність економічної оцінки екологічних ризиків обумовлена в першу чергу їх багатогранністю, що включає в себе: характеристики території навколо об'єкта нерухомості, мінливість стану навколишнього середовища, джерела забруднення, механізми поширення забруднювачів, їх концентрації та рівні, а також особливості впливу на організм людини. З огляду на те, що екологічні умови розташування об'єкта нерухомості можуть наносити реальний збиток для здоров'я населення, облік факторів екологічних ризиків при оцінці нерухомості мають стати одним із компенсаційних заходів відшкодування такого збитку. Отже, перш ніж оцінювати вартість об'єкта нерухомості, необхідно уявляти собі обсяг інвестицій як в сам об'єкт, так і в навколишнє середовище, пов'язане із ним.

**Мета і методи.** Теоретико-методологічні основи еколого-економічної оцінки стану навколишнього середовища на забудованих територіях представлені в працях О.Ф.Балацького, С.Н.Бобилева, А.А.Голуба, К.Г.Гофмана, А.А.Гусева, Ю.А.Ізраеля, Н.Н.Мойсеєва, В.Н.Овчиннікова, Н.Ф. Реймерс, Е.В.Рюміної, С.Г.Тяглова, Т.С.Хачатурова, Н.В.Чепурних, А.С.Чешева та ін. учених.

Значний внесок у розробку і вдосконалення теорії екологічного ризику внесли В.І.Ізмалков, Г.А.Моткін, С.М.Новіков, К.А.Олейнік, В.А.Осіпов, Б. М. Перфильєв, І.М.Потравний, Ю.А.Рахманін, К.Б.Фрідман і ін. вчені.

Однак, незважаючи на накопичений науково-практичний потенціал, застосування методів еколого-економічної оцінки стосовно процесу коригування вартості об'єктів нерухомості вимагає визначення не лише видів, рівнів і ймовірностей появи різних видів негативного впливу забруднень (факторів екологічного ризику), їх фінансових наслідків, але і розробки реального механізму управління цими наслідками, інтегрованого в сферу операцій з нерухомістю.

**Метою роботи** є аналіз та систематизація факторів екологічного ризику, що визначають вартість об'єктів нерухомості для прийняття оціночних рішень.

Об'єкт дослідження – процес коригування вартості об'єктів нерухомості з урахуванням екологічного стану територій їх розміщення.

**Результати і пояснення.** У сучасному світі екологічний фактор є важливим критерієм при оцінці об'єкта нерухомості. Так, наприклад, законодавствами західних країн передбачені жорсткі норми охорони природи, що ведуть до великих фінансових витрат за забруднення ділянки. У зв'язку з цим перед укладанням угоди купівлі-продажу покупці, як правило, цікавляться екологічним станом ділянки.

Міжнародними стандартами оцінки нерухомості передбачено також ряд документів, що регламентують залежність вартості об'єкта від стану навколишнього середовища [2].

Значне місце питанням якості навколишнього середовища приділяється і в Європейських Стандартах оцінки (ЄСО). Зокрема, Стандартом №9 вказана необхідність оцінки ризику, пов'язаного з навколишнім середовищем, щоб уникнути фінансових витрат на компенсацію екологічної шкоди і відновлення екологічної рівноваги навколишнього середовища [3].

Основні фактори, які безпосередньо впливають на вартість нерухомого майна, згідно з правилами ЄСО:

- наявність природних чи штучних процесів, що сприяють забрудненню середовища;

- процеси, що сприяють забрудненню ґрунту, вилуговування ділянок, які перебувають по сусідству;

- види фізичних впливів на навколишнє середовище;
- наявність небезпечних матеріалів безпосередньо в приміщенні.

У США екологічна оцінка також є складовою частиною оцінки нерухомості, для цієї мети передбачені екологічні консультанти, які займаються дослідженням екологічної обстановки навколо оцінюваного об'єкта.

В Україні екологічна ситуація досить складна, що впливає на ефективність експлуатації нерухомості. Тому проблема врахування екологічного чинника в оціночній діяльності є досить актуальною.

Існує певна класифікація екологічних факторів, згідно з якою вони поділяються на:

- керовані (лісистість території, наявність інших насаджень, чистота води для вживання, небезпека зсувів і ін.);

- некеровані (рельєф, тип ґрунту, температурний і вітровий режим тощо).

На оцінку нерухомості можуть впливати як негативні, так і позитивні екологічні фактори.

До негативних факторів можна віднести:

- механічний стан ділянки (наявність сміття, захаращення);
- хімічний стан атмосфери, води і ґрунту;
- фізичні параметри, в тому числі:
  - теплове забруднення (підвищення температури внаслідок шкідливих викидів підприємств);
  - світлові характеристики (слабке природне освітлення внаслідок затінення сусідніми об'єктами);
  - підвищений рівень шуму;
- наявність джерел електромагнітного випромінювання і рівень їх впливу;
- вміст у навколишньому середовищі речовин радіоактивного типу.

До позитивних факторів екологічного типу можна віднести:

- наявність чудового природного ландшафту;
- наявність парків, водойм, природних заповідників і безперешкодна доступність до них;
- наявність різноманітних зелених насаджень безпосередньо на території об'єкта та ін.

І хоча механізми оцінки екологічних факторів в Україні знаходяться в стадії розробки, солідні компанії, що займаються оцінкою нерухомості, прагнучи до максимально об'єктивного оцінювання, враховують як позитивні, так і негативні чинники екологічного характеру.

Реальним еколого-економічним інструментарієм прийняття оціночних рішень при коригуванні ринкової вартості об'єктів нерухомості з урахуванням фактичних рівнів фізичного і матеріального забруднення навколишнього середовища території їх розташування повинна стати методологія управління екологічним ризиком стосовно теорії і практики прийняття оціночних рішень.

При розрахунку екологічних ризиків в оцінці нерухомості слід виходити з того, що забруднення навколишнього середовища відбувається в результаті постійного (безперервного) або аварійного надходження в нього шкідливих речовин, джерелами яких є промислові об'єкти (стаціонарні джерела) і транспорт (пересувні джерела).

Функціонування цих об'єктів, як основних джерел забруднення, пов'язане з ризиком виникнення на них ситуації, коли в результаті випадкової неавтоматичної події, а також при нормальному їх функціонуванні, в навколишнє середовище можуть потрапити шкідливі речовини.

Сучасні дані свідчать про те, що позбутися повністю від ризику бути підданим впливу шкідливих речовин нереально; оптимально чого можна домогтися - це звести ризик до мінімуму.

Тракування ризику у вітчизняній і зарубіжній літературі різноманітне: від поняття ризику як ймовірності до визначення його у вигляді можливих втрат [4]. Відзначимо, що перше трактування ризику відоме з теорії рішень і визначає ризик як ймовірність появи несприятливої події. Друге - відоме з теорії ігор і трактує ризик кількісно, як максимальний збиток, нанесений цією же подією [5].

В теорії статистичного оцінювання і теорії ігор під ризиком (або функцією ризику) розуміється математичне сподівання функції втрат [6]. Словниковим значенням слова "ризик" є можливість людських жертв і матеріальних втрат або травм і пошкоджень [7].

В даний час найбільш поширеним і визнаним в економічній теорії є визначення ризику як двовимірної величини, що включає ймовірність настання небажаної випадкової події і пов'язаних з нею втрат. Відповідно до цього визначення можна запропонувати наступну класифікацію ризику, в якій враховані взаємозв'язки з ризиком забруднення навколишнього середовища (рис. 1).

Методологія оцінки ризику – це вибір оптимальних у даній конкретній ситуації шляхів усунення або зменшення ризику, вона має складатися з трьох взаємопов'язаних елементів [8]:

- оцінка ризику;
- управління ризиком;
- інформування про ризик.

Саме їх сукупність дає можливість не лише виявити існуючі проблеми, розробити шляхи їх вирішення, а й створити умови для практичної реалізації цих рішень.

В зв'язку з цим, головним критерієм оцінки ризику слід вважати ступінь впливу шкідливих речовин на здоров'я населення - індикатор екологічного ризику.

Необхідність виділити ризик забруднення навколишнього середовища і пов'язати його походження з джерелами впливає з наступного:

- здоров'я населення - це характеристика, що замикає ланцюжок зв'язків;
- проміжні ланки - об'єкти нерухомості: (лісові, водні та рекреаційні ресурси, атмосферне повітря, основні фонди промисловості і приватна власність громадян).

Ризик забруднення навколишнього середовища, як один із видів ризику, охоплює по суті всі причинно-наслідкові зв'язки виникнення і наслідків будь-якого виду ризику. Наприклад, індивідуальний ризик існує не тільки в разі прямого впливу на людину, припустимо, вибуху, але і забрудненої в результаті цього вибуху навколишнього середовища, а також "фонового" рівня забруднення на даній території.

Завдання розробки механізму управління ризиком забруднення навколишнього середовища може розглядатися з двох позицій: створення або вдосконалення діючих технічних засобів, які обмежують надходження шкідливих речовин в навколишнє середовище, а також формування адміністративно-економічної системи, яка зобов'язує і стимулює зниження антропогенного впливу на населення і природу.

Об'єктами сукупного впливу екологічного ризику виступають компоненти навколишнього середовища, а опосередковано через них безпосередньо об'єкти нерухомості і людина (рис.2). Стосовно значущості джерел виникнення екологічного ризику слід зазначити, що забруднення атмосферного повітря є визначальним серед інших компонентів навколишнього середовища, так як шкідливі речовини, що надходять з повітрям в організм людини поглинаються найбільш інтенсивно.

Наприклад, кров'ю адсорбується до 60% хімічних речовин, що надходять з повітрям, з води - лише 10%, з їжі - 5%. Можливе джерело додаткового надходження хімічних елементів - сільськогосподарська продукція не є однозначним і стабільним джерелом надходження забруднюючих речовин в організм людини. Крім того, на забудованих територіях забруднення ґрунту і води є багато в чому результатом первинного забруднення атмосфери. Тому при визначенні впливу екологічних факторів ризику на вартість об'єкта нерухомості доцільно виділити в якості основного джерела забруднення атмосферне повітря.

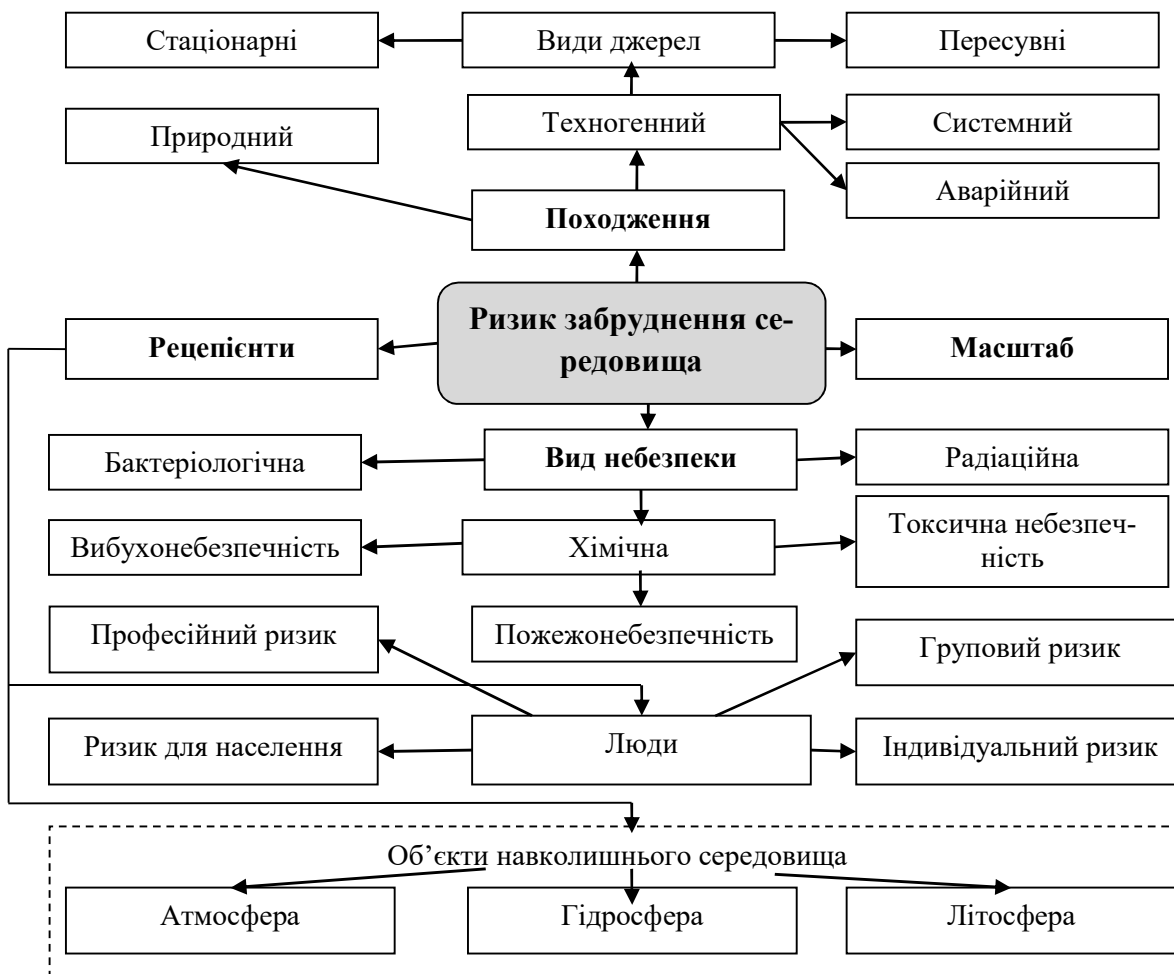


Рисунок 1 – Класифікація екологічного ризику  
Figure 1 – Classification of environmental risk

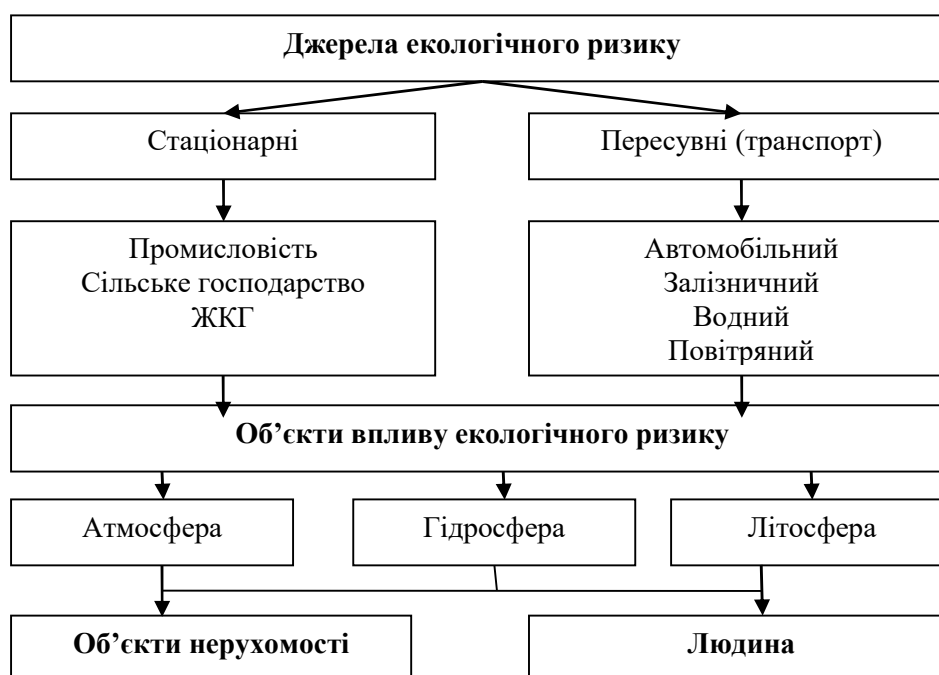


Рисунок 2 – Джерела екологічного ризику  
Figure 2 – Sources of environmental risk

Визначивши основні причини і джерела виникнення екологічного ризику, необхідно зупинитися на його видах, як завершальному етапі підготовки базису еколого-економічних розрахунків при оцінці нерухомості. Як правило, забруднення навколишнього середовища є спільною дією багатьох причин. Основними з них при оцінці забруднення навколишнього середовища є [9]:

- клас небезпеки шкідливості;
- кратність перевищення ГДК (ГДР) забруднюючого фактора;
- характер комбінованої дії речовин, що спільно присутні у повітрі;
- тривалість дії забруднювача на організм людини (при наявності ефекту кумуляції).

Якщо перші три умови характерні для детерміновано впливу при аварійному (разовому) забрудненні, то останні – для стохастичного впливу при поточному постійному забрудненні, в тому числі, в межах екологічних нормативів [10].

Отже, в якості основних видів екологічного ризику, що мають супроводжувати операції з нерухомістю, доцільно прийняти:

- прямий (аварійний) ризик, величина якого в більшій мірі визначається масовими характеристиками забруднення (масовим викидом забруднювачів, їх концентрацій, рівнем і т.п.) і практично не залежать від часу. Час впливу в даному випадку є обмеженим і визначається самоочищуючою здатністю навколишнього середовища.

- непрямий (поточний) ризик, величина якого в більшій мірі залежить від часу впливу забруднюючого фактора. При цьому вплив масових характеристик забруднення зростає в міру зростання кратності перевищення їх фактичних значень над екологічними нормативами. Але навіть у разі дотримання цих нормативів наявність постійно діючого фонових забруднення виступає в якості постійного, але в той же час неявного потенціалу забруднення, а отже, і потенційного фактора ризику.

З огляду на те, що при прямому (аварійному) ризику переважають детерміновані ефекти, для яких нижньою межею впливу на здоров'я людини є гранично допустимі концентрації (ГДК) і рівні (ГДР), то в якості оціночної величини прямого ризику – коефіцієнта якості середовища  $K_{пр}$  можна прийняти кратність перевищення фактичних значень концентрацій  $C_i$  (для матеріального забруднення) або доз  $D_j$  (для фізичного забруднення) над екологічними нормативами в екологічно значущих точках:

$$K_{прі} = \frac{C_i}{ГДК_i} \text{ або } K_{прі} = \frac{D_j}{ГДР_j}. \quad (1)$$

При непрямому ризику, навпаки, переважають стохастичні ефекти впливу забруднювачів. Тому оцінка непрямого ризику повинна містити коефіцієнт якості середовища  $K_{нпр}$ , що розраховується через параметр, що характеризує вплив забруднюючого фактора протягом тривалого періоду часу. Таким параметром є доза. Відомо також, що доза (токсодоза) оцінює дію хімічних речовин в залежності від концентрації і часу впливу на організм людини. У зв'язку з цим доцільно розширити сферу застосування цього оціночного параметра на весь спектр матеріального забруднення. Останнє дозволяє забезпечити єдиний методичний підхід щодо визначення величини непрямого ризику, який найбільш важко визначити в силу його неявної форми впливу, незалежно від фізичної природи забруднюючого фактора (матеріального чи фізичного).

Величина середньодобової дози впливу  $i$ -ого забруднюючої речовини на організм людини може бути визначена наступним чином [6]:

$$D_i = \frac{(C_{атм} T_{out} V_{out} + C_{прим} T_{in} V_{in}) E_{енл} \cdot T_{енл}}{365 A_T M}, \quad (2)$$

де  $D_i$  – середня добова доза речовини, мг/кг доба;

$C_{атм}$ ,  $C_{прим}$  – концентрація речовини в атмосферному повітрі та у приміщенні відповідно, мг/м<sup>3</sup>;

$T_{out}$ ,  $T_{in}$  – час, що проводиться поза приміщенням та у приміщенні відповідно, год/доба;

$V_{out}$ ,  $V_{in}$  – швидкість дихання поза приміщенням та у приміщенні відповідно, м<sup>3</sup>/год;

$E_{вл}$  – частота впливу, днів/рік;

$T_{вл}$  – тривалість впливу, років;

$A_T$  – період осереднення експозиції, років;

$M$  – маса тіла, кг;

365 – кількість днів у році.

Відповідно, гранично допустима доза (ГДД) – це рівень впливу забруднюючого фактора, який не викликає яких-небудь негативних змін у здоров'ї людини і його потомства (біологічного оптимуму) за певний проміжок часу.

Кратність перевищення фактичної дози над її гранично допустимим значенням і визначає величину коефіцієнта якості середовища, що дозволяє оцінити непрямий ризик:

$$K_{нпрі} = \frac{D_j}{ГДД_j} \quad (3)$$

Таким чином, екологічний ризик можна визначити за допомогою імовірного підходу щодо оцінки погіршення життєдіяльності внаслідок прояву детермінованих і стохастичних ефектів при забрудненні навколишнього середовища, що оточує об'єкт нерухомості. Тоді для кількісної оцінки величини екологічного ризику  $R_{екол}$ , можна запропонувати наступну залежність:

$$R^{екол} = 1 - (1 - R_{нпр}^{екол}) (1 - R_{нпр}^{екол}), \quad (4)$$

де  $R_{нпр}^{екол}$ ,  $R_{нпр}^{екол}$  – величини прямого і непрямого (відповідно) екологічного ризиків.

$$R_{нпр(нпр)}^{екол} = \sum [P_t K_{сер}^м + P_t K_{сер}^ф] r^{відн} K_{тер}, \quad (5)$$

$P_t$  – ймовірність події забруднення середовища, що оточує об'єкт нерухомості за певний період часу в результаті впливу певного фактору;

$K_{сер}^м$ ,  $K_{сер}^ф$  – коефіцієнт якості середовища при матеріальному і фізичному забрудненнях відповідно;

$r^{відн}$  – відносне скорочення тривалості життя;

$K_{тер}$  – коефіцієнт екологічної значущості території.

Відносне скорочення тривалості життя можна визначити наступним чином:

$$r^{відн} = \frac{\Delta r}{r} < 1, \quad (6)$$

де  $\Delta r$  – скорочення тривалості життя при прямому (детермінованому) і опосередкованому (стохастичному) забрудненні, рівні відповідно 45 і 15 років;

$r$  – середня тривалість життя для даного регіону.

Подальшим напрямком досліджень є розробка математичних співвідношень для визначення параметру  $P_i$  – ймовірності події забруднення середовища, що оточує об'єкт нерухомості за певний період часу в результаті впливу певного фактору.

**Висновки та рекомендації.** Мірою сукупної якості об'єктів нерухомості є їх вартість, яка у загальному випадку повинна включати в себе не тільки мотивації покупців і продавців, а й об'єктивну всебічну характеристику нерухомості, важливою складовою якої є рівень забруднення навколишнього середовища території, на якій вона розташована.

В зв'язку з цим оцінка екологічних ризиків повинна стати базисом для прийняття обґрунтованих варіантів оціночних рішень з урахуванням екологічного потенціалу положення об'єкта нерухомості. В свою чергу використання методів математичного моделювання при оцінці екологічного ризику, як найбільш об'єктивного комплексного показника екологічності даної території може і повинно стати оперативною і мотивованою підставою для прийняття ефективних управлінських рішень стосовно інвестицій у нерухомість.

### Перелік посилань

1. Єщенко П.С., Чубук Л.П. Досвід фінансування житлового будівництва у зарубіжних країнах / П.С. Єщенко, Л.П. Чубук // Фінанси України. – 2009. – № 7. – С. 30 – 38.
2. International Valuation Standards IVS -2017. IVSC, 2017. – 115p.
3. European Valuation Standards EVS-2016. 8-th edition. TEGoVA. - Gillis nv/sa, 2016. – 370p.
4. Порфирьев Б.Н. Концепция риска: новые подходы к экологической политике // США – экономика, политика, идеология, 1988. №11.
5. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 263 с.
6. Бард И. Нелинейное оценивание параметров. Пер в англ. / Под ред. В.Г.Горского. – М.: Статистика, 1979. – 349 с.
7. Рагозин А.Л. Оценка и картографирование опасности риска от природных и техногенных процессов // Проблемы безопасности при ЧС, 1993, № 3.
8. Методичні рекомендації "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря" / [Електронний ресурс] / <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07>
9. Ибрагимов М.Х., Куценко В.В., Рачков В.И. Научные основы методологии качественного анализа экологической опасности при техногенном воздействии на окружающую среду // Экологическая экспертиза, № 5, 1999, с.2 – 74.
10. Karanikolas Nikolaos, Vagiona Dimitra, Xifilidou Agapi Real estate values and environment: A case study on the effect of the environment on residential real estate values // International journal of Academic research. - Vol. 3. No. 1. January, 2011, Part III . – P. 861-868

## RESEARCH OF ENVIRONMENTAL RISK FACTORS IN ESTIMATION OF REAL ESTATE

**Bondarenko Liudmyla Petrivna**, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, [luda\\_bond@ukr.net](mailto:luda_bond@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8239-065X>

**Kushnirova Oksana Mykolaivna**, National Transportation University, Department of Transportation Construction and Property Management, Senior Lecturer, [kushnirovao@gmail.com](mailto:kushnirovao@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6011-5609>.

**Summary.** The paper investigates environmental risk factors that determine the value of real estate assets and make valuation decisions. It is determined that the components of the environment are the object of the cumulative impact of environmental risk, and indirectly through them are real estate objects and people. Among all the environmental components, the most decisive is the atmosphere, as the harmful substances coming from the atmospheric air into the human body are absorbed most intensely. The main criterion for environmental risk assessment is the degree of influence of harmful substances on the health of the population. The systematization of environmental risk factors, which provides an analysis of the causes, sources and significance of negative material and physical impact in the study area with the separation of two qualitatively different types of environmental risk: direct and indirect. Both positive and negative environmental factors that affect the value of real estate are listed. It is proposed to determine environmental risk as part of a probabilistic approach to assess the deterioration of life due to the deterministic and stochastic effects of environmental pollution surrounding a real estate object. Dependencies for quantitative estimation of direct and indirect environmental risks are determined. Conceptual bases for objective consideration of negative environmental factors of material and physical nature in the developed territories have been developed.

**Keywords:** environmental risk, real estate, object of valuation, management decisions.

### References

1. Yeshchenko P.S., Chubuk L.P. Dosvid finansuvannia zhytlovoho budivnytstva u zarubizhnykh krainakh / P.S. Yeshchenko, L.P. Chubuk // *Finansy Ukrainy*. – 2009. – № 7. – S. 30 – 38.
2. International Valuation Standards IVS -2017. IVSC, 2017. – 115 p.
3. European Valuation Standards EVS-2016. 8-th edition. TEGoVA. - Gillis nv/sa, 2016. – 370 p.
4. Porfir`ev B.N. Konczepczya riska: novy`e podkhody` k e`kologicheskoy politike // SShA – e`konomika, politika, ideologiya, 1988. №11.
5. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody` e`kspertny`kh ocenok. – M.: Statistika, 1974. – 263 s.
6. Bard I. Nelinejnoe ocenivanie parametrov. Per v angl. / Pod red. V.G.Gorskogo. – M.: Statistika, 1979. – 349 s.
7. Ragozin A.L. Ocenka i kartografirovanie opasnosti riska ot prirodny`kh i tekhnogenny`kh processov // *Problemy` bezopasnosti pri ChS*, 1993, № 3.
8. Metodichni rekomendatsii "Otsinka ryzyku dlia zdorovia naselennia vid zabrudnennia atmosferneho povitria" / [Elektronnyi resurs] / <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07>
9. Ibragimov M.Kh., Kuczenko V.V., Rachkov V.I. Nauchny`e osnovy` metodologii kachestvennogo analiza e`kologicheskoy opasnosti pri tekhnogennom vozdejstvii na okruzhayushhuyu sredu // *E`kologicheskaya e`kspertiza*, № 5, 1999, s.2 – 74.
10. Karanikolas Nikolaos, Vagiona Dimitra, Xifilidou Agapi [Real estate values and environment: A case study on the effect of the environment on residential real estate values](#) // *International journal of Academic research*. - Vol. 3. No. 1. January, 2011, Part III. – P. 861-868.

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА РАХУНОК  
ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СКЛОБОЮ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY USING OF WASTE GLASS IN  
ROAD CONSTRUCTION



**Кондратенко Вадим Олегович**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, магістрант тел. +380442859528, e-mail: [kondratenkovadim@gmail.com](mailto:kondratenkovadim@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5724-4610>



**Овсюк Александра Володимирівна**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, студентка, тел. +380442859528, e-mail: [aleksandraovsuk@gmail.com](mailto:aleksandraovsuk@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6999-9105>



**Опрощенко Ірина Олександрівна**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, асистент, тел. +380442859528, e-mail: [i.oproshchenko@gmail.com](mailto:i.oproshchenko@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1292-2689>



**Хамбір Богдан Юрійович**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, магістрант тел. +380442859528, e-mail: [bodyan338@gmail.com](mailto:bodyan338@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6962-9251>



**Хом'як Валерія Ігорівна**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, магістрант тел. +380442859528, e-mail: [valeria.homiak26@gmail.com](mailto:valeria.homiak26@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-5331-8368>

**Анотація.** Використання відходів виробництва у дорожньому будівництві є одним із важливих напрямів захисту навколишнього середовища та раціонального використання матеріалів при будівництві автомобільних доріг. Розглянута можливість використання відходів склобою у дорожньому будівництві для дренажних шарів конструкцій дорожнього одягу. Представлені результати дослідження впливу зернового складу відходів склобою на коефіцієнт фільтрації. Досліджувались варіанти сумішей склобою з річковим піском. Отримано позитивні результати, що свідчать про можливість застосування відходів склобою для влаштування дренажних шарів конструкцій дорожнього одягу.

**Ключові слова:** захист навколишнього середовища, відходи склобою, дорожнє будівництво, дренажні матеріали, коефіцієнт фільтрації.

### Вступ

Однією з нагальних проблем промисловості є переробка та утилізація відходів. Причиною її виникнення стало не тільки збільшення обсягів виробництва, але й недоброякісний видобуток сировини, нераціональне використання сировинних ресурсів, накопичення та утилізація залишків промисловості. Поряд з цим набула поширення практика самовивозу відходів на несанкціоновані звалища, що спричиняє забруднення навколишнього середовища.

Сучасні тенденції розвитку дорожнього будівництва полягають у застосуванні інноваційних технологій та відходів виробництва.

Утилізація вторинних матеріалів виробництва призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання. Утилізація заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, в якому є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами.

В умовах ринкової економіки та недостатнього фінансування дорожньої галузі, екологічних проблем та виснаження природних ресурсів, першочерговим завданням є використання відходів промисловості в будівництві доріг, при цьому забезпечивши експлуатаційну надійність шарів дорожніх одягів, а також здійснення заходів спрямованих на ресурсо- та енергозбереження. [1] В дорожньому будівництві України передбачається можливим поряд з природними матеріалами в якості сировини використовувати відходи промисловості, до яких відносять металургійні шлаки, золу-виносення з ТЕС, вторинний поліетилен і гумову крихту [2-5].

Згідно розпорядження Кабінету Міністрів України від 4 грудня 2019 р. № 1420-р «Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві» передбачено Державному агентству автомобільних доріг, обласним та Київській міській державним адміністраціям рекомендувати: під час здійснення публічних закупівель робіт з будівництва та послуг з поточного ремонту автомобільних доріг загального користування застосовувати неціновий критерій “Заходи із захисту довкілля” з питомою його вагою не менше 10 відсотків, який характеризуватиметься показником “рівень використання відходів виробництва та дорожньо-будівельних матеріалів, отриманих з їх використанням як заповнювачів”; у договорах про будівництво або надання послуг з поточного ремонту автомобільних доріг загального користування в Запорізькій, Донецькій, Луганській, Дніпропетровській, Миколаївській, Кіровоградській областях передбачати положення щодо доцільності використання відходів виробництва (металургійних шлаків, золу-виносу тощо) згідно з відповідними нормативними документами, у тому числі з питань екологічного маркування.

### Аналіз досліджень

Можливість застосування промислових відходів при будівництві автомобільних доріг передбачена проєктом Концепції Державної цільової економічної програми будівництва автомобільних доріг загального користування з цементобетонним покриттям на 2021-2025 роки.

Головним напрямком можливого застосування склобою в дорожньому будівництві є використання склобою в якості дрібного заповнювача (піску) при влаштуванні основи або дорожнього покриття з ґрунтів, укріплених (зміцнених) неорганічними в’язучими речовинами (цемент, вапно).

Іншим напрямком є можливе використання склобою при будівництві дорожніх споруд (насіпів) з метою поліпшення фільтраційної характеристики матеріалу, з якого будується насип за рахунок часткової заміни піску склобомом і, тим самим, підвищення коефіцієнту фільтрації піску з низьким коефіцієнтом.

В Канаді і США для дорожнього покриття застосовується матеріал «гласфальт», що містить до 70% склобою. У складі верхнього шару дорожнього покриття використовується до 60% склобою, а в нижніх шарах дорожнього покриття - до 50%.

Дренуючі шари дорожньої конструкції повинні відповідати вимогам до дренуючих ґрунтів згідно ГБН В.2.3 – 37641918-559 [6].

Коефіцієнт фільтрації визначається за табл.1 (ГБН В.2.3 – 37641918-559:2019).

Таблиця 1 – Вимоги до дренуючих ґрунтів відпоідно з ГБН В.2.3 – 37641918-559:2019

Table 1 - Requirements for draining soils in accordance with GBN B.2.3 - 37641918-559: 2019

Коефіцієнт фільтрації еталонний, $K_{\phi e}$	Коефіцієнт неоднорідності, $K_{60/10}$	Вміст частинок розміром менше ніж 0,1 мм, у відсотках, не більше ніж при проектуванні двосхилого поперечного профілю при кількості смуг руху	
		дві	чотири
40 < 3 10,0	40 < 3 10,0	40 < 3 10,0	40 < 3 10,0
7,5	7,5	7,5	7,5
7,0	7,0	7,0	7,0
5,5	5,5	5,5	5,5

**Примітка.** У чисельнику наведено дані для конструкцій з відведенням води трубчастими дренами, у знаменнику – для конструкцій з відведенням води через фільтруючий шар під узбіччями.

**Постановка завдання - дослідити можливість застосування відходів склобою для влаштування дренуючих шарів.**

**Мета роботи** – проведення пошукових досліджень для розробки можливого застосування продукції із склобою у дорожньому будівництві для конструкцій дренуючих шарів.

Для уточнення можливих напрямків утилізації продукції із склобою у дорожньому будівництві, було проведено дослідження по визначенню коефіцієнту фільтрації склобою.

Для визначення пропускної здатності шару склобою при можливому його застосуванні в дорожньому будівництві необхідно визначити коефіцієнт фільтрації шару склобою при певному тиску води в дорожній конструкції (насипу).

Для порівняння випробування проводились з річковим піском.

Випробування склобою проводили згідно із ДСТУ Б В.2.1-23 [7].

При випробуванні визначали коефіцієнт фільтрації склобою в порівнянні з коефіцієнтом фільтрації річкового піску.

Коефіцієнт фільтрації склобою і піску визначали у фільтраційній трубці КФ-00.

Коефіцієнт фільтрації розраховували за формулою :

$$K_{\phi}^{(10)} = \frac{864Q}{Ftir}, \quad (1)$$

де  $K_{\phi}^{(10)}$  - коефіцієнт фільтрації ґрунту при температурі води 10<sup>0</sup>С, м/доб;

$Q$ - об`єм води, що профільтрувалась, см<sup>3</sup>;

$F$  - площа поперечного перерізу циліндричного зразка ґрунту, 25 см<sup>2</sup>;

$t$  - час фільтрації, 60 с;

$i$  - градієнт напору води;

$r$  - температурна поправка,  $r = 0,7 + 0,03T$ ;

$T$  - температура води, що фільтрується під час проведення досвіду, <sup>0</sup>С.

Результати визначення коефіцієнта фільтрації склобою і піску приведені у табл. 2

Таблиця 2- Визначення коефіцієнта фільтрації  
Table 2- Determination of the filtration coefficient

№	Склад	Градi- єнт напору води, і	Темпе- ратура води, Т С°	Темпе- ратурна поправ- ка, г С°	Пло- ща пере- різу, F см <sup>2</sup>	Об'єм профіль- трованої води, Q см <sup>3</sup>	Середнє значення коєфі- цієнта фільтра- ції, $K_f$ м/доба
1	Склобій фракція 0,315 - 0,14	0,6	10	1,00	25	11,0	10,2
2	Склобій фракція 0,63 - 0,315		10	1,00		62,0	59,5
3	Склобій фракція 1,25 - 0,63		10	1,00		111,0	16,6
4	Склобій фракція 2,5 - 1,25		10	1,00		32,0	30,7
5	Склобій фракція 5 - 2,5		10	1,00		9,0	8,6
6	Склобій фракції 0,63 - 0,315 - 30% Пісок-70%		10	1,00		27,0	25,7
7	Склобій фракції 1,25 - 0,63 - 30% Пісок-70%		10	1,03		30,0	28,8
8	Склобій фракції 1,25 - 0,63 - 30% Пісок-70%		11	1,03		22,0	21,1
9	Склобій фракції 0,63 - 0,315 - 70% Пісок-30%		11	1,03		36,0	33,5
10	Склобій (суміш фрак- цій)-30% Пісок-70%		11	1,03		5,0	4,4
11	Склобій (суміш фрак- цій)-70% Пісок-30%		11	1,03		7,0	6,5
12	Пісок-100%		10	1,00		17,0	16,3

На рисунку 1 наведено графік залежності коефіцієнта фільтрації води від складу склобою різних фракцій та суміші склобою з піском в різних співвідношеннях.

За попередніми даними встановлено, що найбільший коефіцієнт фільтрації мають фракції склобою 1,25 - 0,63 мм та 0,63 - 0,315 мм відповідно 107 та 59,5 м/добу. В суміші склобій фракції 1,25 - 0,63 мм з піском в співвідношенні 70 % до 30 %. коефіцієнт фільтрації становить 33,5 м/добу, що значно більше коефіцієнта фільтрації піску (16,3 м/добу). При використанні склобою (суміші фракцій) з піском в співвідношенні 70 % до 30 % відповідно, коефіцієнт фільтрації знижується по відношенню до

коефіцієнта фільтрації піску і становить 10,2 м/добу. Таким чином, за результатами попередніх досліджень встановлено, що для підвищення коефіцієнта фільтрації доцільно використовувати фракції склобою 1,25 - 0,63 мм та 0,63 - 0,315 мм в суміші з піском в співвідношенні 70 % до 30 % відповідно.

Крім того були визначені інші характеристики склобою: насипна щільність, яка становить 1455 кг/см<sup>3</sup>; за гранулометричним складом склобій відноситься до групи важких дрібних заповнювачів; за модулем крупності (Мк) який становить в межах від 2,83 до 4,0, склобій відноситься до крупних дрібних заповнювачів; за характеристикою міцності на стиск марка склобою фракції 5-10 мм має міцність 600 кгс/см<sup>2</sup>.

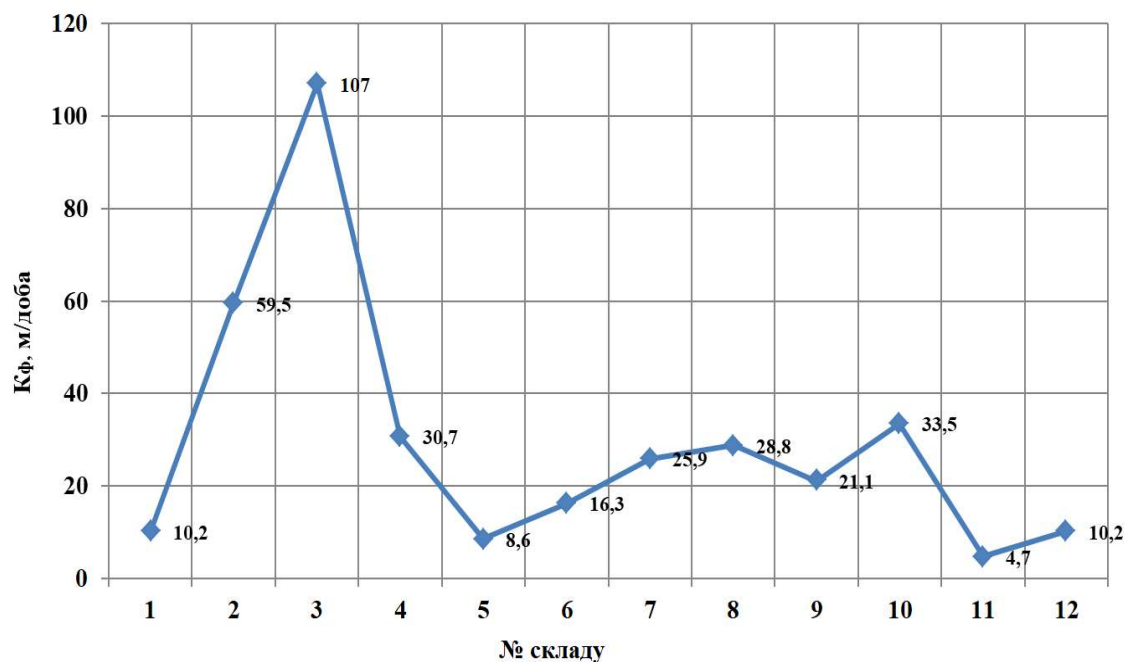


Рисунок 1 – Графік залежності К<sub>ф</sub> від складу склобою

№ складів – склобій фракції: 1 – 0,315 - 0,14 мм, 2 – 0,63 - 0,315 мм, 3 – 1,25 - 0,63 мм, 4 – 2,5 - 1,25 мм, 5 – 5 - 2,5 мм; суміш склобою з піском: 6 – пісок, 7 - пісок (70%) + склобій фр. 0,315 (30%), 8 - пісок (30%) + склобій фр. 0,315 (70%), 9 - пісок (70%) + склобій фр. 0,63 (30%), 10 - пісок (30%) + склобій фр. 0,63 (70%), 11 - пісок (70%) + склобій суміш фракцій (30%), 12 - пісок (30%) + склобій суміш фракцій (70%),

Figure 1 - Graph of the dependence of K<sub>f</sub> on the composition of slag

№ compositions - cullet fraction: 1 - 0,315 - 0,14 mm, 2 - 0,63 - 0,315 mm, 3 - 1,25 - 0,63 mm, 4 - 2,5 - 1,25 mm, 5 - 5 - 2,5 mm; mixture of cullet with sand: 6 - sand, 7 - sand (70%) + cullet fr. 0.315 (30%), 8 - sand (30%) + cullet fr. 0.315 (70%), 9 - sand (70%) + cullet fr. 0.63 (30%), 10 - sand (30%) + cullet fr. 0.63 (70%), 11 - sand (70%) + slag mixture of fractions (30%), 12 - sand (30%) + cullet mixture of fractions (70%),

### Висновок

Розглянуто один із методів застосування відходів склобою. За результатами проведених досліджень по визначенню коефіцієнта фільтрації встановлено що склобій доцільно використовувати як матеріал для дренажних шарів. Підвищення коефіцієнту фільтрації дрібного піску при будівництві насипів за рахунок використання фракції склобою 1,25 - 0,63 мм, 63 - 0,315 мм в суміші з піском в співвідношенні 70 % до 30 % відповідно можуть підвищити коефіцієнт фільтрації дрібного піску на 50-70%. Однак характеристика міцності на стиск (марка) склобою фракції 5-10 мм що становить 600

кгс/см<sup>2</sup>, (тоді як у гранітного щебеню фракції 5-10 мм марка по міцності становить 1200 кгс/см<sup>2</sup>) може обмежити його використання для відповідних дорожніх категорій/

Використання відходів склобою в дорожньому будівництві сприяє зменшенню їх шкідливого впливу на навколишнє середовища.

### Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.
2. ВБН В.2.3-218-537:2008 Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу методом ресайклінгу з використанням гранульованих доменних шлаків.
3. ДСТУ Б.В.2.7-149:2008 Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт.
4. ДСТУ Б.В.2.7-307:2015 Вторинні продукти вугільної промисловості для будівництва автомобільних доріг. Класифікація.
5. ДСТУ Б В.2.7-29-95 Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація.
6. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
7. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнту фільтрації.

### ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY USING OF WASTE GLASS IN ROAD CONSTRUCTION

**Oproshchenko Irina**, National Transport University assistant, Department of road building materials and chemistry, tel. +380442859528, e-mail: [i.oproshchenko@gmail.com](mailto:i.oproshchenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1292-2689>.

**Kondratenko Vadym**, National Transport University, master's student, Department of road building materials and chemistry, tel. +380442859528, e-mail: [kondratenkovadim@gmail.com](mailto:kondratenkovadim@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5724-4610>

**Khomiak Valeria**, National Transport University, master's student, Department of road building materials and chemistry, tel. +380442859528, e-mail: [valeria.homiak26@gmail.com](mailto:valeria.homiak26@gmail.com) , <https://orcid.org/0000-0002-5331-8368>

**Khambir Bohdan**, National Transport University master's student, Department of road building materials and chemistry, , tel. +3804422859528, e-mail: [bodyan338@gmail.com](mailto:bodyan338@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6962-9251>

**Ovsyuk Oleksandra**, National Transport University, student, Department of road building materials and chemistry, , tel. 380442859528, e-mail: [aleksandraovsuk@gmail.com](mailto:aleksandraovsuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6999-9105>.

**Summary.** The use of industrial waste in road construction is one of the important areas of environmental protection and rational use of materials in road construction. The possibility of using slag waste in road construction for drainage layers of pavement structures is considered. The results of the study of the influence of the grain composition of slag waste on the filtration coefficient are presented. Variants of slag mixtures with river sand were studied. Positive results have been obtained, which indicate the possibility of using slag waste for the installation of drainage layers of pavement structures.

**Key words:** Environmental protection, glass waste, road construction, drainage materials, filtration coefficient.

**References**

1. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo.
2. VBN V.2.3-218-537:2008 Sporudy transportu. Vlashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu metodom resaiklinhu z vykorystanniam hranulovanykh domennykh shlakiv.
3. DSTU B.V.2.7-149:2008 Shchebin i shchebenevo-pishchani sumishi iz shlakiv metalurhiinykh dlia dorozhnykh robit.
4. DSTU B.V.2.7-307:2015 Vtorynni produkty vuhilnoi promyslovosti dlia budivnytstva avtomobilnykh dorih. Klasyfikatsiia.
5. DSTU B V.2.7-29-95 Budivelni materialy. Dribni zapovniuvachi pryrodni, iz vidkhodiv promyslovosti, shtuchni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruksii ta robit. Klasyfikatsiia.
6. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia.
7. DSTU B V.2.1-23:2009 Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia koefitsiientu filtratsii.

**ПАРАДОКС ТА ПАРАДИГМА СИСТЕМНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ АЕРОПОРТІВ  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УНІВЕРСИТЕТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ  
(Частина 2)**

**THE PARADOX AND PARADIGM OF SYSTEM ACTIVITY OF THE AIRPORTS DEPARTMENT  
OF THE NATIONAL TRANSPORT UNIVERSITY IN UNCERTAINTY CONDITIONS  
(Part 2)**



*Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аеропортів, Національний транспортний університет, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 344, e-mail: gir65n@gmail.com, тел. +380503524124, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.*



*Вакарчук Ігор Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра аеропортів, Національний транспортний університет, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 344, e-mail: imvsor@gmail.com, тел. (+38044) 280-70-73, <https://orcid.org/0000-0002-9693-1744>.*



*Іванова Олександра Олегівна, студентка кафедри аеропортів, Національний транспортний університет, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 344, e-mail: aleks.iv.2718@gmail.com, тел. (+38044)280-70-73, <https://orcid.org/0000-0003-1563-4586>.*

**Анотація.** Стаття розкриває парадокс та парадигму освітньої, наукової й прикладної діяльності на прикладі кафедри аеропортів Національного транспортного університету під час підготовки фахівців для транспортно-дорожнього комплексу за напрямом «Аеропорти, аеродромні конструкції та споруди» та «Системний аналіз в транспортній інфраструктурі» та практики застосування дистанційного навчання в умовах невизначеності пандемії коронавірусу. Представлена авторська модель заснована на принципах встановлення механізму системного впровадження компетентнісного підходу та застосування інноваційних технологій дистанційного навчання, що отримано в процесі аналізу вітчизняного та закордонного досвіду за умов невизначеності пандемії коронавірусу.

Об'єкт дослідження – освітньо-науково-прикладна діяльність кафедри аеропортів, як Лабораторії системних знань та раціональних інфраструктурних рішень у складі Національного транспортного університету, що позиціонується як Регіональний освітньо-науковий логістичний центр на засадах аутсорсингу в умовах дистанційного навчання та невизначеності пандемії коронавірусу.

Мета роботи – встановлення механізму системного впровадження компетентнісного підходу та застосування інноваційних технологій для взаємозв'язку «викладач–студент–роботодавець», що дозволяє у підсумку визначити найбільш ефективні шляхи та засоби досягнення кінцевих цілей освітньої, наукової й прикладної діяльності в умовах невизначеності пандемії коронавірусу та забезпечення висококваліфікованими кадрами транспортно-дорожній комплекс країни.

Методи дослідження – системний, концептуально-методологічний та програмний підходи.

Встановлення механізму застосування інноваційних технологій для моделі «методи навчання–результати навчання–оцінювання» за компетентнісним алгоритмом «знання теорії–вміння прикладного застосування–навички володіння технологіями» для посилення взаємозв'язку «викладач–студент–роботодавець», дозволить довести результати освітнього процесу до вимог роботодавців та забезпечити транспортно-дорожній комплекс висококваліфікованими кадрами.

Подальший розвиток об'єкта дослідження – впровадження освітньої, наукової й прикладної діяльності Лабораторії системних знань та раціональних інфраструктурних рішень у складі Регіонального освітньо-наукового логістичного центру, для забезпечення висококваліфікованими кадрами транспортно-дорожній комплекс в умовах дистанційного навчання та невизначеності пандемії коронавірусу.

**Ключові слова:** парадокс, парадигма, кафедра, університет, освітня, наукова та прикладна діяльність, пандемія, невизначеність, системні знання, раціональні рішення.

### **Формулювання цілей статті.**

Метою статті є встановлення механізму системного впровадження компетентнісного підходу та застосування інноваційних технологій для налагодження взаємозв'язку «викладач–студент–роботодавець», що дозволяє у підсумку визначити найбільш ефективні шляхи та засоби досягнення кінцевих цілей освітньої, наукової й прикладної діяльності в умовах невизначеності, викликані пандемією коронавірусу, та забезпечення висококваліфікованими кадрами транспортно-дорожній комплекс країни.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

У частині другій даної статті, враховуючи актуальність проблеми ВО під час «локдауну» та обмежень, викликаних пандемією коронавірусу та накопичений вітчизняний й закордонний досвід її вирішення, на засадах системного, концептуально-методологічного та програмного підходів, авторами розкрито парадокс та парадигму освітньої, наукової й прикладної діяльності підрозділу ЗВО, на прикладі кафедри аеропортів НТУ, та подано механізм побудови нової моделі навчання. Це все можливе за умови новацій, нововведень, інновацій та трансферу технологій [34 - 36]. Для початку слід пояснити, що новація є лише теоретичним відкриттям у вигляді винаходу чи ноу-хау, нововведення – це спроба практичного застосування новації, а інновація – результат впровадження нововведень, що приніс реальну користь навчальному процесу, отже, ототожнюється із результатами впровадження.

Представлена авторська модель навчання заснована на принципах встановлення механізму системного впровадження компетентнісного підходу та застосування інноваційних технологій з використанням елементів дистанційного та змішаного навчання, що отримано в процесі аналізу вітчизняного та закордонного досвіду за умови обмежень та невизначеності, викликаних пандемією коронавірусу, та дозволяє у підсумку визначити найбільш ефективні шляхи та засоби досягнення кінцевих цілей освітньої, наукової й прикладної діяльності щодо забезпечення висококваліфікованими кадрами транспортно-дорожній комплекс (ТДК) країни.

Отже, перед нами поставили задачі, що раніше вважалися неможливими та саме пандемія коронавірусу дала поштовх для ширшого застосування технологічних процесів і моделей мислення, що за звичайних умов зажадало б більш тривалого часу. Карантин змусив по-новому, в рамках системного підходу, поглянути на: процеси освітньої, наукової та прикладної діяльності, систематизувати та підвищити її ефективність; впровадження спільної та дуальної освіти при змішаному навчанні; наведення нових зв'язків та посилення їх взаємозв'язку; розширення інклюзивності; мотивування співробітників та покращення їх управління, корпоративну культуру; розроблення і реалізацію нових сильних місій, бачення, стратегії та тактики для досягнення кінцевих цілей ВО.

### *Парадокс освітньо-наукової й прикладної діяльності в умовах невизначеності*

У нашому випадку значення слова парадокс розглядається як думка, що разюче розходиться з усталеними поглядами, начебто суперечить здоровому глуздові, хоча насправді може й не бути хибною. Спершу розкриємо значення організаційної структури нашого університету у вирішенні першочергових питань щодо запровадження заходів та способів дистанційного навчання під час карантину. Отже, організаційна структура, що передбачає наявність невидимих кордонів між підрозділами, що обумовлені специфікою їх функцій, завжди є однією з найбільших перешкод для значущих змін та утворює бар'єри для обміну навичками і створення необхідної синергії.

Так сталося, що у нашому університеті про дистанційне навчання йшлося ще з 2003 року, коли був створений Інститут заочного і дистанційного навчання для організаційного забезпечення впровадження прогресивних інформаційних технологій у навчальний процес, потім, 2016 року, коли інститут був перетворений у Центр заочного та дистанційного навчання (ЦЗДН), як структурний підрозділ з метою організаційного забезпечення впровадження передових інформаційних технологій в навчальний процес. До речі, освітній процес на всіх рівнях ВО в ЦЗДН здійснюється з урахуванням визнаних в Європейському просторі вищої освіти (ЄПВО) та рекомендованих Європейською кредитною трансферно-накопичувальною системою (ЄКТС) механізмів і процедур у відповідності до Положення про організацію освітнього процесу в НТУ (джерело: [http://vstup.ntu.edu.ua/pro\\_orhanizatsiyu\\_osvitnoho\\_protseesu.pdf](http://vstup.ntu.edu.ua/pro_orhanizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf)).

Парадокс полягає в тому, що повноцінне дистанційне навчання було запроваджено після 18 березня 2020 року, коли було оголошено про організацію та активізацію дистанційного навчання з боку адміністрації на різних рівнях (МОНУ, ректорат, навчально-методичний відділ, факультет, кафедра) та затверджені відповідні накази, розпорядження, положення, інструкції щодо роботи професорсько-викладацького та інженерно-технічного складу університету на період карантину.

Серед них можна виділити наступні: щодо тимчасового переходу на дистанційне навчання; про організацію дистанційної роботи; про профілактичні заходи; про впорядкування обліку робочого часу робітників; про огляд-конкурс кафедр університету на кращу постановку науково-дослідної роботи; про виконання плану роботи професорсько-викладацького та інженерно-технічного складу; про заповнення таблиць зайнятості на період карантину; про графіки чергувань та консультацій на кафедрі; про організацію модульного контролю; про проведення семестрової сесії; про захист бакалаврських та магістерських робіт; про проходження щорічних практик студентів; про заходи щодо завершення навчального року; про графіки відпусток, про вступну кампанію тощо.

Треба визначити що, через людський фактор або інертність самої академічної спільноти, могло загальмуватись запровадження або, взагалі, зірватись загальний перехід до он-лайн навчання, бо тільки невелика частина викладачів мала досвід дистанційного викладання і бажання реалізувати його надалі. На відміну багатьох скептиків, таку перешкоду було подолано у дуже короткі строки, всі зацікавлені сторони університету згуртувалися навколо оперативно встановленої чіткої та єдиної мети: запобігти поширенню коронавірусу, зберегти здоров'я співробітників і студентів та забезпечити повноцінне безперервне навчання.

Як з'ясувалося, переформатування курсів на дистанційне навчання є трудомісткою роботою та потребувало додаткового навантаження щодо підготовки до он-лайн занять та збереження якості навчального процесу. Всупереч всьому, співробітники кафедри переорієнтувались на позитивний лад для вирішення першочергової проблеми передачі знань студентам доступними засобами мобільного зв'язку, як-от Київстар, Vodafone, Lifecell та Інтернет-ресурсів Classroom, Moodle, Zoom, Meet, електронна пошта, Viber, Telegram, WhatsApp. Дистанційна модель значно змінила базові освітні технології та культуру викладання через взаємодію з територіально розподіленою групою студентів, за допомоги Інтернету (відео-конференції, соціальні мережі, форуми). На виконання постанов КМУ, рекомендацій МОНУ, наказів та розпоряджень адміністрації НТУ, процес навчання та заліково-екзаменаційна сесія

на кафедрі аеропортів для студентів напрямів освітніх програм «Аеропорти, аеродромні конструкції та споруди» (БА) та «Системний аналіз в транспортній інфраструктурі» (СА) здійснювались за розкладами у дистанційному або змішаному режимах на базі он-лайн платформи MOODLE та системи «Кафедра», рис.4.

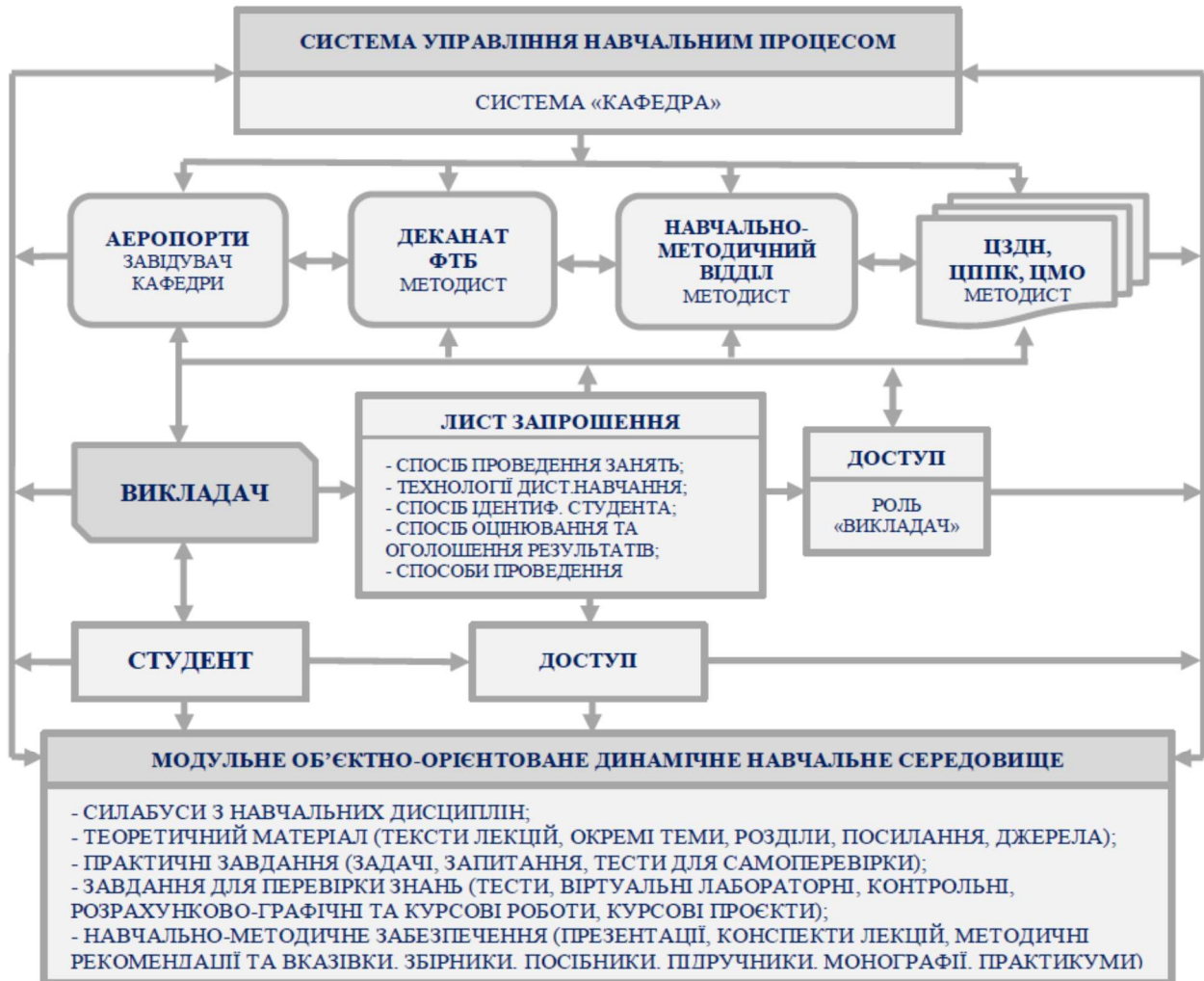


Рисунок 4 – Управління взаємодією «студент – викладач» на кафедрі аеропортів в умовах карантину (18.03-31.12.2020 р.)

Figure 4 – Management of Interaction «Student – Teacher» at the Department of Airports in Quarantine (18.03-31.12.2020)

Крім вирішення проблем освітнього процесу щодо видачі лекційного матеріалу, завдань на виконання реферативних доповідей, практичних, лабораторних та контрольних робіт, розрахунково-графічних та курсових робіт, курсових проєктів, паралельно здійснювались заходи щодо створення силабусів, змістових модулів, робочих зошитів, перегляду та корегування змісту навчальних та РП, підготовки до друку та редагування змісту окремих тем, розділів, конспектів лекцій, методичних рекомендацій та вказівок, збірників, посібників, підручників, монографій та практикумів. Також, були здійснені введення електронних журналів з обліку занять, ліквідація заборгованостей за попередній семестр та складання академічної різниці для поновлення студентів, виставлення оцінок за КП/КР/РГР/контрольну роботу та проведення іспиту/заліку.

Здійснено наукове керівництво, редагування змісту та підготовку до друку тез доповідей та презентацій, матеріалів для проведення конференцій, статей до вітчизняних та міжнародних фахових видань, наукове керівництво щодо виконання етапів розрахунково-графічних та курсових робіт, курсових проєктів, випускових робіт, он-лайн консультування. Паралельно на кафедрі виконувалась робота за 10 науково-дослідними роботами, що мали прикладний характер та підтверджено відповідними актами впровадження за виконаними госпдоговірними темами. Отже, парадокс, безумовно, виявився в тому, що пандемія коронавірусу забезпечила великий прорив, при якому кафедра аеропортів зробила досить вагоме зрушення, переходячи до повномасштабного дистанційного навчання (співробітники підлаштувались під вимоги цих змін) та продовжила свою освітню, наукову й прикладну діяльність, рис. 5.

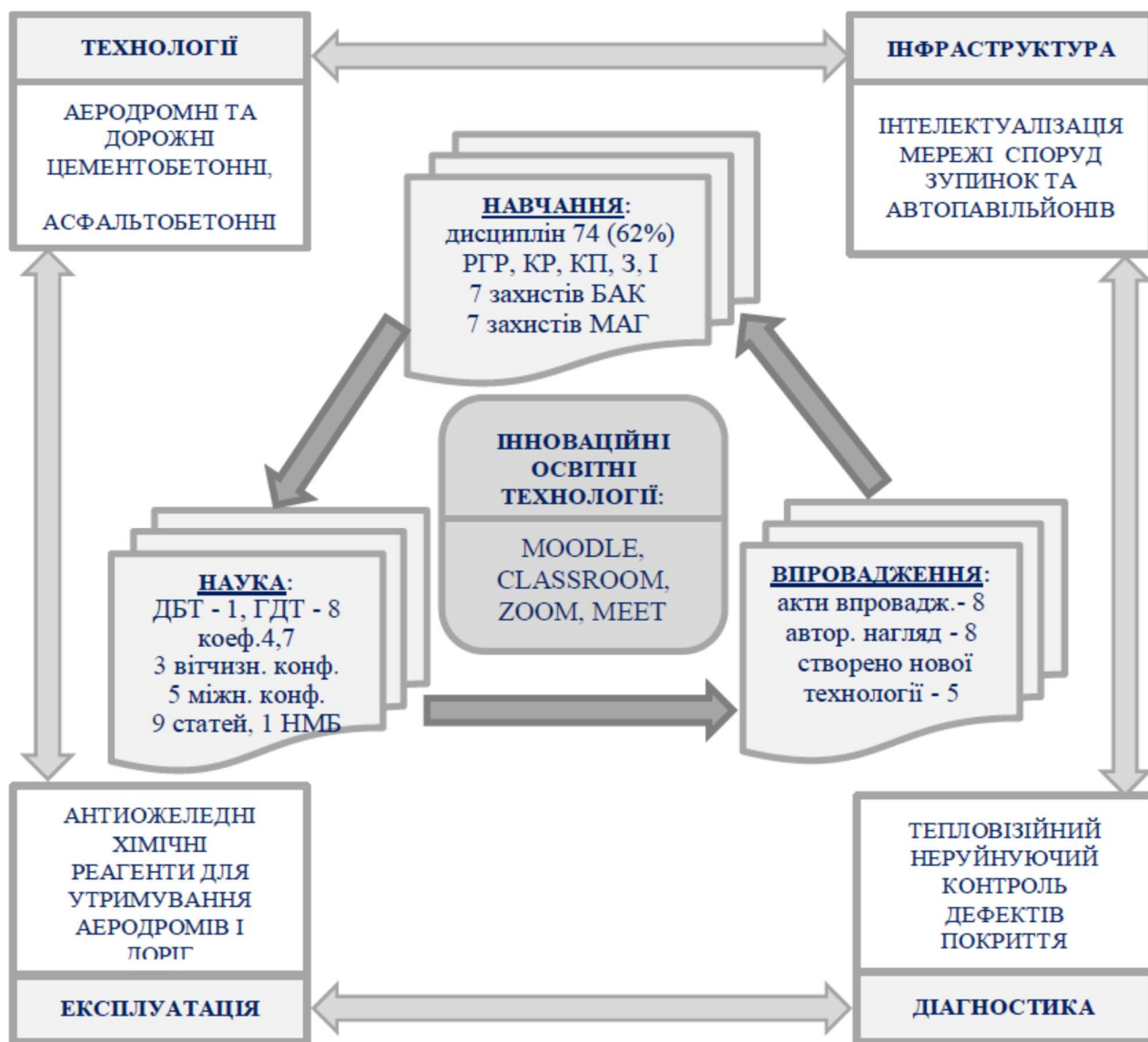


Рисунок 5 – Результати діяльності кафедри аеропортів в умовах карантину (18.03-31.12.2020 р.)

Figure 5 – The Results of the Airports Department in Quarantine Conditions (18.03-31.12.2020).

У підсумку діяльності кафедри аеропортів з березня до грудня місяців 2020 року в умовах невідомості викликані пандемією коронавірусу, слід зазначити наступне.

По-перше, умови карантину стали головним каталізатором поширення дистанційного навчання та дозволили отримати викладачами нові навички щодо набору певних методик і підходів при побудові освітнього процесу, опанувати нові освітні та комунікаційні технології. Прискорене переформатування за цих умов дозволило запобігти поширенню коронавірусу та забезпечити повноцінне безперервне навчання.

По-друге, не перервався процес наукової думки, що дозволило залучити під керівництвом викладачів кафедри студентів до наукової роботи, видати статті за напрямками дослідження, виступити на конференціях, підготувати до захисту дві кандидатські дисертації, виконати заплановані етапи досліджень.

По-третє, наукові дослідження, що виконувались на кафедрі, мають прикладне значення, що підтверджено їх впровадженням та авторським наглядом й надходженням відповідних коштів.

Парадоксом залишається діяльність з боку профільного міністерства, що обмежилось збіркою нормативних документів та рекомендаціями щодо впровадження змішаного навчання у закладах освіти [37], на відміну, наприклад, від національної освітньої стратегії Китаю, що була розроблена і реалізована за лічені дні та включила загальну хмарну платформу з навчальними матеріалами, залучила громадські телеканали для трансляції освітніх передач, великі телекомунікаційні компанії, що об'єднали зусилля з технічними гігантами Baidu, Alibaba і Huawei для підтримки цифрової навчальної мережі з 7 тис. серверами, пропускнуою спроможністю 90 терабайт/сек. Співпраця між школами, вишами і підприємствами призвело до розробки всеосяжної освітньої моделі для учнів та студентів, тобто, створення нової системи управління освітою за участі всього суспільства, не покладаючись лише на державну підтримку [38].

### *Парадигма освітньо-наукової й прикладної діяльності в умовах невизначеності*

Парадигма у даному випадку розуміється як «приклад», «взірець», у загальному значенні – теоретико-методологічна модель. Перед тим, як подати авторську модель навчання, звернемось до [32, с. 36], де: передбачено університетську автономію та інституційну спроможність ЗВО серед пріоритетних принципів розвитку ВО; в основі концептуальної моделі ВО має бути покладений кібернетичний принцип необхідного розмаїття, у структурі ЗВО існують стартап-центри, бізнес-інкубатори, виробничі підрозділи [39, с. 37-38]; на другому етапі (з 2023 р.) – досягнення рівня інституційної автономії та забезпечення стійкого фінансування діяльності ЗВО [39, с. 59].

Перспективи «зеленого університету» [27], дозволили представити концептуальну модель діяльності НТУ, що позиціонується як Регіональний освітньо-науковий логістичний центр (Центр ОНЛ) та функціонує на засадах аутсорсингу [19]. Інноваційні аспекти та переваги запропонованої моделі освітньо-наукової й прикладної діяльності дозволяють створити механізм для реалізації реформування у галузі ВО дорожньо-транспортного спрямування та перспективи надання аутсорсингу у виконанні різноманітних робіт на регіональному рівні та перейняти функції місцевих адміністрацій, що дозволить перейти на більш високій рівень управління регіоном, як-от охорона здоров'я, розвиток культури, соціальні проблеми тощо. Одночасно, авторами представлено бачення кафедри аеропортів, як Лабораторії системних знань та раціональних інфраструктурних рішень (Лабораторія ЗР) у складі Центру ОНЛ.

Ідея створення Лабораторії ЗР має на меті збереження і розвиток талановитих студентів, пробудження в них духу заповзятливості та взаємодії з соціальною та віртуальною спільнотами, просування інклюзивного і стійкого середовища, наповненого змістом громадського простору. Для інтегрованого бачення довготривалого просторового, соціального і економічного розвитку території та тестування різних стратегій досягнення довгострокових цілей через короткострокові дії, передбачено спільну роботу студентів, фахівців науково-дослідних і конструкторських установ, спеціалізованих лабораторій, малого і середнього бізнесу креативної індустрії і місцевих виробників малих архітектурних форм для міського середовища і матеріалів для благоустрою, рис. 6.

В межах Лабораторії ЗР передбачено залучення творчої спільноти студентів до простих точкових проєктів локального простору, як-от, зупинка або автопавільйон транспорту загального користування, ділянка велодоріжки, пішохідної зони, автомобільної дороги, будівлі та споруди аеропортів до поступового зростання рівня складності повномасштабних проєктів Великого будівництва, модернізації та розвитку інфраструктури аеропортів в межах країни. Внаслідок вище приведеного, передбачено синтез освітньо-професійних програм БА та СА факультету транспортного будівництва для подальшого просування ідеї подвійного диплому/ступеня, що надаються після успішного завершення здобувачем ВО спільної освітньої програми певного циклу/рівня ВО.

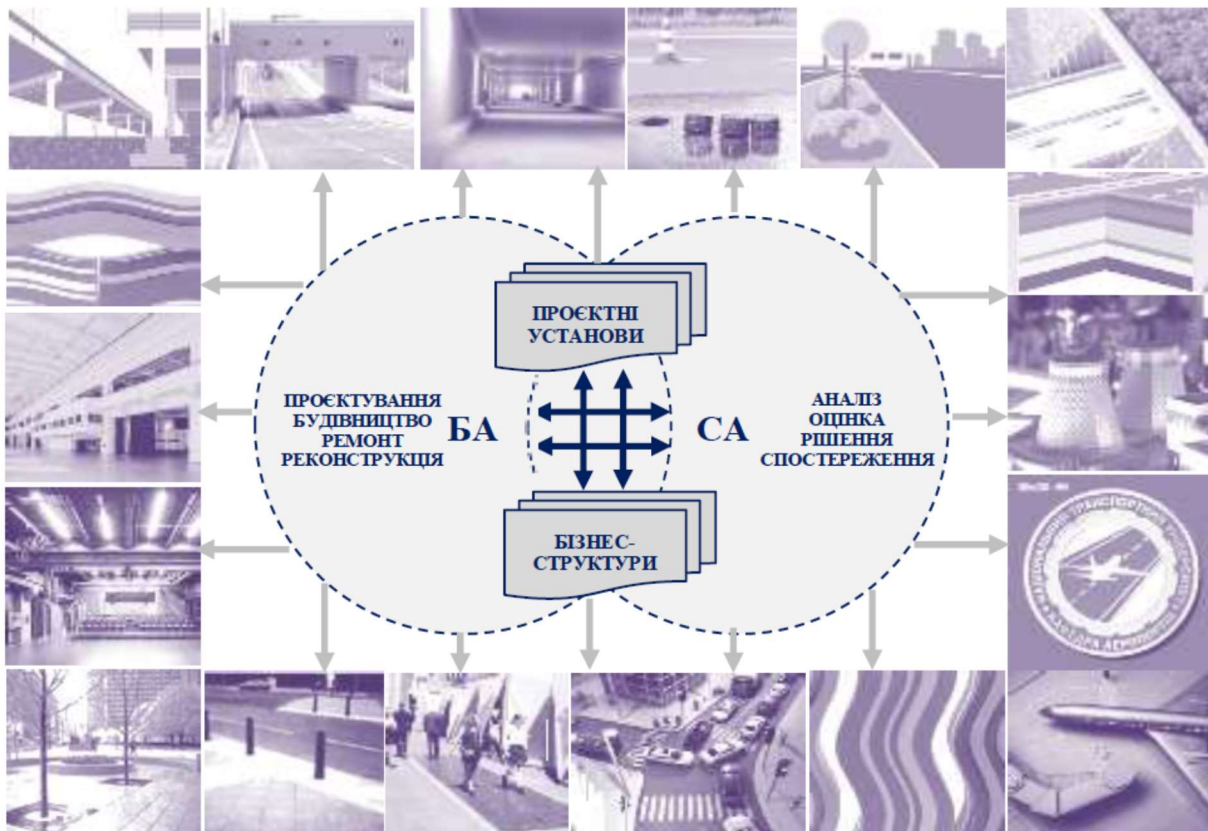


Рисунок 6 – Парадигма діяльності Лабораторії системних знань та раціональних рішень

Figure 6 – Paradigm of the Laboratory of System Knowledge and Rational Solutions

Також, на часі запровадження елементів дуальної форми здобуття ВО за моделями: 1) із інтегрованою практичною підготовкою, що передбачає поєднання періодів навчання для здобувачів фахової передвищої чи першої ВО в закладі освіти та на підприємстві; 2) із інтегрованою професійною діяльністю для поєднання навчання в ЗВО та на підприємстві для тих, хто вже здобув фахову передвищу або першу ВО, працює на підприємстві та має бажання продовжити навчання за своїм профілем або профілем, визначеним підприємством. Нагадаймо, що дуальна система має на меті підвищити якість підготовки майбутніх кваліфікованих кадрів з урахуванням вимог роботодавців у рамках організаційно-відмінних форм навчання з освоєнням сучасних інноваційних виробничих технологій та подолання розриву між теорією і практикою, освітою й виробництвом.

Як відомо, більшість студентів, для оплати освітніх послуг, змушені підробляти в галузях торгівлі, ресторанного та туристичного бізнесу тощо, що не є суміжними з дорожньо-будівельним напрямом підготовки та віддаляють їх від фахової орієнтації. Отже, інновації у ВО з елементами дуальної освіти дозволить майбутнім фахівцям заробляти в нашій системі ТДК та набувати професійних навичок, що

знадобляться їм в подальшій управлінській діяльності на відповідних посадах фахового спрямування. Для цього потрібно: а) забезпечити дослідно-експериментальну та науково-технічну роботи за затвердженими програмами та заявками та б) залучення матеріально-технічної бази за переліком затверджених базових підприємств, установ, лабораторій тощо виробників продукції транспортно-дорожньої галузі. Тому, найближчим часом потрібно діяти у напрямі налагодження зв'язків з усіма зацікавленими сторонами, як можливий вектор ідентифікації та уособлення Лабораторії ЗР в структурі Центру ОНЛ, рис.7. Про перспективи галузевої аналітичної структури див. [40].

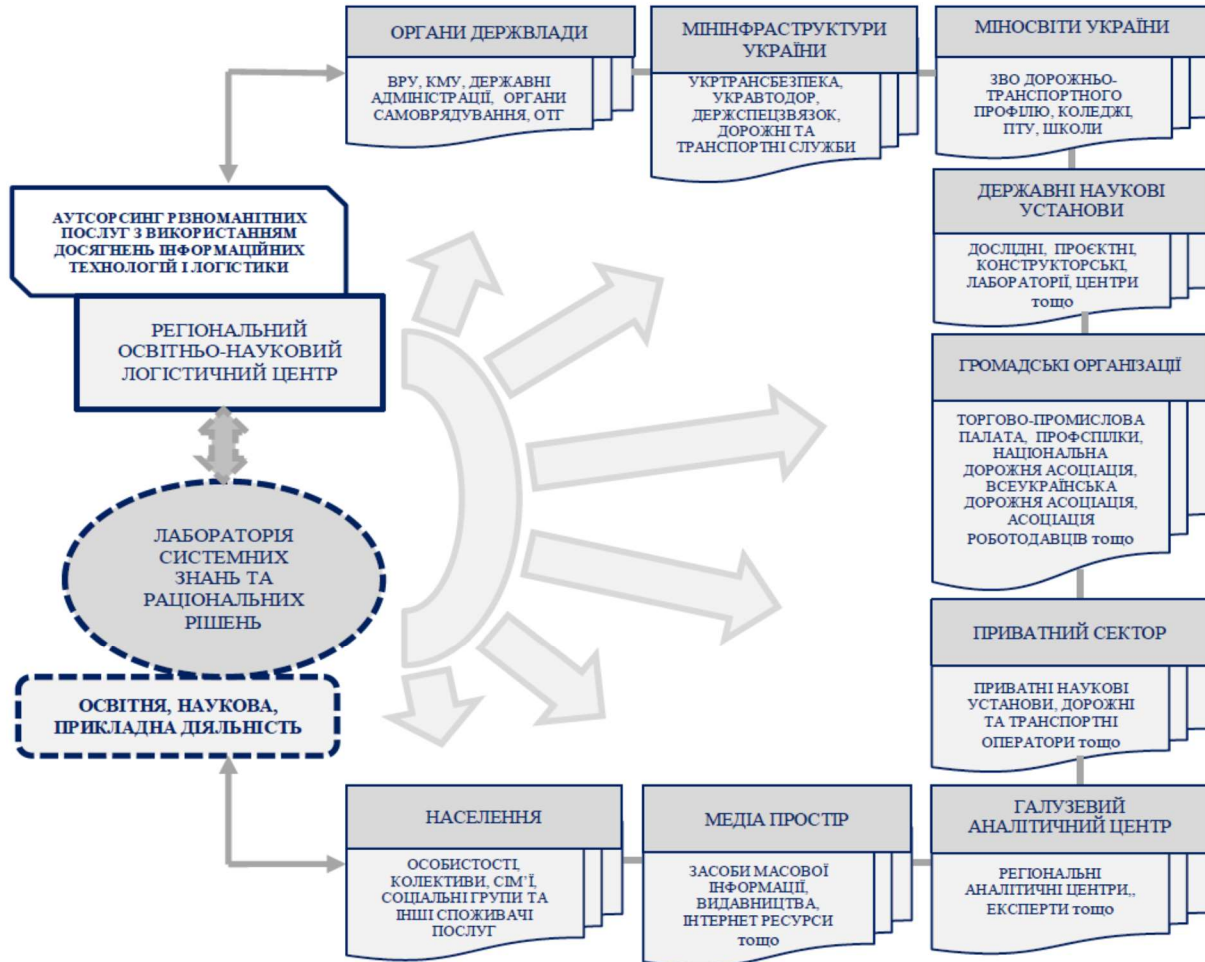


Рисунок 7 – Функціональна спрямованість Лабораторії на взаємодію із зацікавленими сторонами

Figure 7 – Functional Focus of the Laboratory on Interaction with Stakeholders

На підготовчому етапі проведено SWOT-аналіз очікуваних результатів та сприятливих факторів партнерської співпраці з роботодавцями щодо адресної підготовки кадрового потенціалу; стажування науково-педагогічних працівників кафедри на базах роботодавців та відповідна підготовка їх працівників у ЦПК НТУ за відповідними спеціальностями та спеціалізаціями транспортного будівництва та одночасно, – міждисциплінарними зв'язками; з урахуванням вимог роботодавців розробити експериментальний робочий навчальний план та узгодити їх плановий рівень кваліфікації/категорії з навчальним планом кафедри; розрахувати загальний фонд економії годин теоретичного навчання за державним стандартом освіти та ОПП (ОНП) за умов дуальної системи та переваг для студентів й роботодавців зокрема та держави в цілому; передбачити розробку бази даних для постійного моніторингу працевлаштування та подальшого росту кваліфікації й перспектив на ринку праці випускників кафедри Цен-

тром ОНЛ. Цьому має передувати мультиплікація досвіду на кафедрі спорідненого профілю для: узгодження сумісних етапів дослідно-експериментальних та науково-технічних робіт; уникнення проявів недоброчесності під час виконання державних та госпдоговірних тем дорожньо-транспортного й дорожньо-будівельного спрямування; оформлення результатів фундаментальних, експериментальних чи прикладних досліджень.

Додаймо, що Торгово-промислова палата (ТПП) разом із галузевою профспілкою (ПС) мають стати основними зацікавленими сторонами у налагодженні ефективного взаємозв'язку між галузевими підприємствами, установами тощо із Центром ОНЛ взагалі та з Лабораторією ЗР зокрема, як основної лабораторії з продукування висококваліфікованих спеціалістів за специфічними напрямками освітніх програм БА та СА, затребуваних національним, європейським та світовим ринками праці. При чому залучення ТПП має передбачати консультацію галузевих підприємств щодо навчання; здійснення підготовки інструкторів і персоналу; перевірку і сертифікацію галузевого підприємства, що здійснює підготовку за дуальною системою; здійснення аудиту, перевірки виробничого навчання та арбітраж вирішення спірних питань між кафедрою, студентом і галузевим підприємством; організацію проміжних (модульних) іспитів; підтримку галузевих підприємств під час пошуку студентів; організації відповідних фахових заходів. У той же час ПС залучається до узгодження оплати за навчання; контролю виробничого (прикладного) навчання; участі у розробці стандартів освітніх програм; екзаменаційних/атестаційних спільних комісій.

Щодо специфіки інклюзивного середовища, слід врахувати локацію кафедри та можливість дістатися до неї через центральну транспортну браму, використання вантажного ліфту, також, зручне сусідство з читальною залом, можливість задоволення біологічних потреб (туалет). Потребуватиме додаткове облаштування пандусів та розширення отворів дверей до самої кафедри та аудиторій, що їй підпорядковані, для здобувачів, які користуються візками.

В контексті внутрішньої взаємодії з структурними підрозділами університету, слід наголосити на потребі у залученні фахівців з іноземних мов та іноземної філології до якісної підготовки технічного перекладу поданого змісту матеріалів та результатів наукових досліджень кафедри у вигляді тез доповідей, рефератів, статей до конференцій та журналів, що входять до науково-метричних баз даних або до переліку фахових видань України. Залучення майбутніх філологів дозволить з одного боку заглиблення у предмет навчання та постійну практику перекладу і забезпечення високопрофесійної підготовки бакалаврів та магістрів за фахом перекладу для ТДК, що в подальшому посприє налагодженню партнерських стосунків із зарубіжними інвесторами та підприємствами, з іншого боку – зекономити значні ресурси авторів на якісний переклад.

Основним завданням ВО у XXI ст. є розвиток мислення, орієнтованого на стійке майбутнє та якісну підготовку висококваліфікованого фахівця у відповідності до інноваційних технологій, визначених Національною доктриною розвитку освіти України у XXI ст., Національною стратегією розвитку освіти в Україні на 2012–2021 рр. та ґрунтується на рекомендаціях Римського Міністерського Комюніке, як основоположного документу, що окреслює пріоритети розвитку для країн Європейського простору ВО (ЄПВО) на наступні 10 років. У той же час, умови невизначеності пандемії коронавірусу виявили наступну парадигму:

- прозорість якості освіти дозволяє легко під'єднатися до лекції, семінару або будь-якого запису, за допомоги доступних продуктів можна організувати курси будь-якої складності – від простих вебінарів до повноцінних навчальних програм;

- спільне розроблення ЗВО і бізнесом он-лайн бакалавратів та магістратури пропонує відкритий відбір до програм ВО на основі цифрового сліду на своїй платформі. Змішане навчання стає стандартом, предикативна аналітика і штучний інтелект змінюють освітні технології та підходи, освітні продукти персоналізуються під потреби замовника та користувача;

- проведений аналіз цифрової інфраструктури щодо трансляції занять, використаного відео-конференц-зв'язку, збереження величезного контенту вимагає захисту інтелектуальних прав на викладені у відкритому доступі лекції і заняття та потребує інвестування R&D (дослідження та розробки), дизайн платформ і методик навчання;

- через економічну кризу та втрату роботи зростає попит на отримання другої освіти, змінюється траєкторія кар'єри і формати зайнятості, компанії починають спиратися на дані й insight, що отримані в результаті дата-аналітики (за даними Gartner Inc. третина з них вже відмовилась від штатного персоналу на користь самозайнятих), посадові рамки стають все більш гнучкими - на передній план виходять не формальні обов'язки, а навички;

- посилення ролі корпоративних університетів та зростання числа міжнародного партнерства, стає можливим завдяки он-лайн формату, що дозволяє заощадити значні кошти на оренду приміщень, транспортні витрати та відрядження через залучення висококваліфікованих фахівців он-лайн;

- змінення поведінки через гнучкість графіку он-лайн формату навчання, що зручно вписується в повсякденне життя; до речі, студенти обирають живе спілкування з викладачем і одногрупниками; запускаються антипрокрастинаційні марафони для залучення студентів, які замість навчання блукають в соціальних мережах; приділяється увага вже сформованим новим формам роботи та викладання, поліпшення форматів комунікації і wellbeing (благополуччя), тобто ментальне, фізичне, психічне, емоційне здоров'я і рівновагу.

Отже, прискорений розвиток і масштабування освітніх технологій, внаслідок карантину, вимагають інтеграції сервісів он-лайн конференцій і масових відкритих он-лайн курсів до класичної системи ВО, навчання за запитом, персоналізації і Гейміфікації, змішану форму освіти, посилення ІТ-компонент і soft skills в програмах ЗВО та перекваліфікації викладачів відповідно до цих трендів.

В контексті вище приведеного, проведений SWOT-аналіз діяльності кафедри аеропортів дозволив визначити нову місію, що полягає в підготовці фахівців рівнів ВО бакалаврів/магістрів за ОПП БА та СА, затребуваних національним, європейським та світовим ринками праці шляхом формування у випускників необхідних знань, розуміння, навичок, умінь і компетентностей. Внаслідок цього, бачення кафедри – бути провідною та визнаною кафедрою на національному і міжнародному рівні у галузі підготовки спеціалістів за ОПП (ОНП) БА та СА, що забезпечує сучасні, високоякісні інженерні знання та пропонує передові технології будівництва й прикладний системний аналіз. В межах стратегії кафедри проводить навчальну, методичну, виховну та профорієнтаційну, у поєднанні з науковою, науково-дослідною та науково-технічною діяльністю; застосовує студентоцентрикований підхід, в основу якого покладена компетентнісна модель фахівця, що створена за участі викладачів, роботодавців і випускників, рис.8.

Гасло «На варті системних знань та розвитку раціональних рішень» є визначальним для кафедри аеропортів з часу її заснування 2002 року, відповідно, це має корелюватися безпосередньо із можливими напрямками кафедри на найближчу перспективу, рис. 9. З огляду на те, що особливого значення набуває триада «виклик – потреба – вимога» та втілення інноваційних технологій ВО, представлена модель «методи навчання – результати навчання – оцінювання» за компетентнісним алгоритмом «знання теорії – вміння прикладного застосування – навички володіння технологіями» для посилення взаємозв'язку «викладач – студент – роботодавець», що доводить результати освіти до вимог роботодавців й забезпечення ТДК висококваліфікованими кадрами. Це все залежить від якісного викладацького складу, що поєднує, також, наукову діяльність з подальшим впровадженням результатів досліджень та встановленого корпоративного клімату на кафедрі.

Залучення науково-педагогічних працівників до проєктів та програм галузі дорожньо-транспортного будівництва стають реальним взірцем для студентів та значним важелем поваги до отриманого

досвіду під час навчання у ЗВО, спонукають до всебічного їх залучення до різноманітних сфер діяльності (не тільки навчання) від якого залежить майбутнє випускника у подальшому працевлаштуванні за фаховою орієнтацією.

Для реалізації компетентнісного алгоритму «знання теорії – вміння прикладного застосування – навички володіння технологіями» використано системний підхід як засіб вивчення, аналізу й узагальнення педагогічних фактів і явищ у діалектичному процесі пізнання, що дозволив викладачам: інтегрувати свій предмет до інших фахових дисциплін; чітко визначати пріоритетні напрямки викладання; структурувати навчальні завдання, а саме: формулювання кінцевої мети навчання; визначення кінцевого рівня знань студентів; відбір змісту навчального матеріалу; розробка конкретної технології організації навчального процесу; здійснення навчання; проведення контролю, аналізу та оцінки результатів.

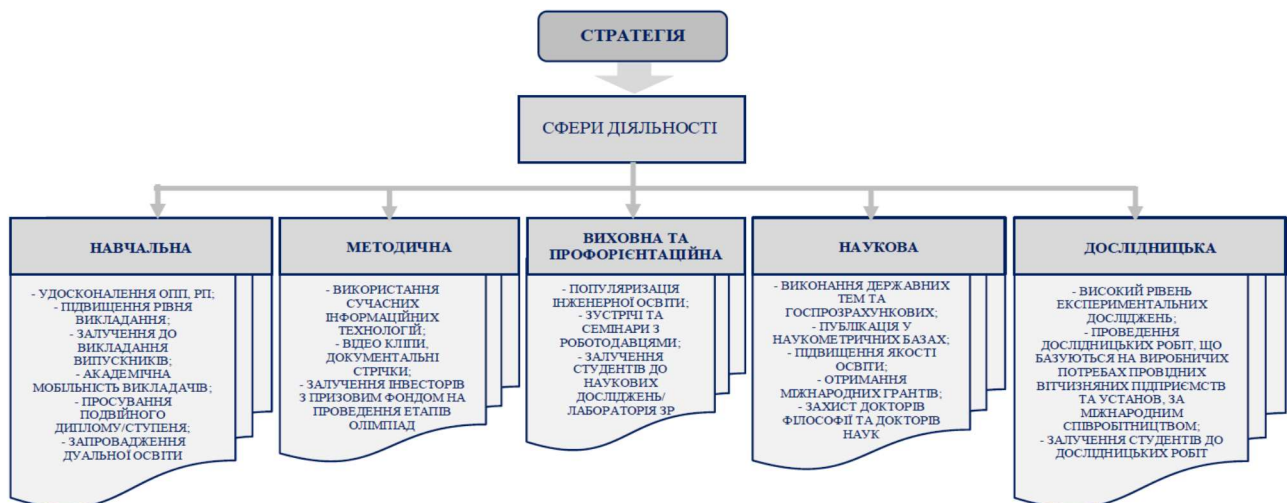


Рисунок 8 – Стратегічні напрями кафедри аеропортів за умов невизначеності пандемії коронавірусу на 2021-2022 роки

Figure 8 – The Strategic Directions of the Airports Department under Conditions of Uncertainty of the Coronavirus Pandemic for 2021-2022

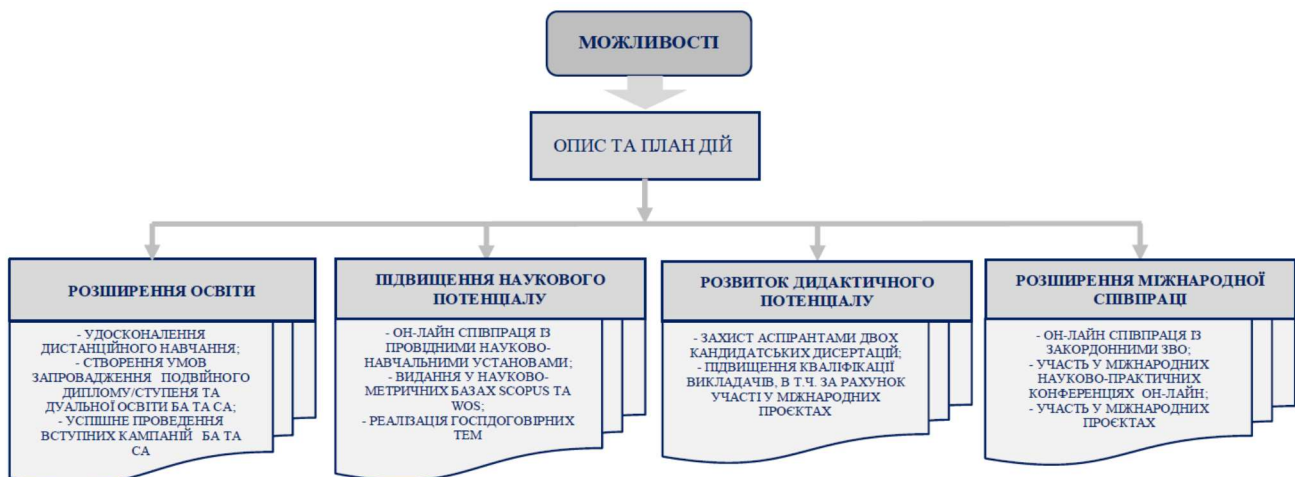


Рисунок 9 – Орієнтири кафедри аеропортів за умов невизначеності пандемії коронавірусу на 2021-2022 роки

Figure 9 - Landmarks of the Airports Department under Conditions of Uncertainty of the Coronavirus Pandemic for 2021-2022

Системний підхід дозволив визначити перспективи навчання, його основні взаємодіючі компоненти з урахуванням провідних тенденцій і принципів суспільного розвитку; реальні потреби і можливості суб'єктів навчання, координацію і субординацію таких великих систем, як освіта, наука і впровадження, а також дозволив відобразити кількісне й якісне зростання ВО та прогнозувати освітні процеси, з урахуванням вимог суспільства та роботодавців. У підсумку було встановлено організаційний, методичний та технологічний блоки можливості змішаної форми навчання за умов невизначеності пандемії коронавірусу.

Викладачі стають провідниками сакрального вислову «...даємо не рибу, а вудку...». Не секрет, що студенти під впливом легкої «здобичі», що пропонують безліч застосунків та Інтернет-ресурсів перебувають у скривленій «віртуальній реальності», й наша задача довести до них, що «реалії віртуальних світів» та марнування часу на накопичення відповідного ігрового досвіду (хоча, є дослідження що ігроманія розвиває специфічні навички) або перегляду безлічі розважального контенту не створюють у підсумку цінності, за що нараховується заробітна платня для забезпечення заробітку не тільки «на хліб насущний», але і для повноцінного життя сім'ї в сучасних умовах.

Інформацію слід подавати невеликим обсягом. Важливо привести висновки українського нейрофізіолога Богдана Ткача про те, що неасоціативній людській пам'яті потрібно 23 хв. для засвоєння отриманої інформації, і якщо вона важлива, то переходить до пам'яті довготривалого асоціювання (так звана денна пам'ять). Обов'язково використати для переформатування класичних розкладів щодо тривалості занять та перерв між ними. Також, інформацію слід подавати у вигляді презентацій з візуалізацією образів щодо теми дослідження (за оцінками експертів використання образів до 10 разів збільшує обсяги засвоєння матеріалу); аудіокоментарі (голос за кадром); відео кліпи щодо фіксації, наприклад, актуальності, об'єкту та предмету дослідження, мети та поставлених задач, практичної цінності або ефективності проектних рішень; використання кінодокументалістики для відображення спеціалізації етапів технологічних/виробничих процесів та наслідків/масштабів їх порушення.

Слід використовувати рольовий фактор під час навчання для створення у студента образу майбутнього керівника (для оперативного, тактичного, стратегічного рівнів управління), що безпосередньо змушує ототожнювати себе з цим конкретним персонажем не тільки в момент дії, але й в момент розмірковування, очікування, переживання втрати/перемоги тощо, що має відбитися на якості здійснення етапів аналізу та пошуку проблеми, прийняття раціональних проектних рішень, їх остаточної реалізації зокрема та якості освітнього процесу в цілому.

В рамках неформальної освіти, слід додати, що перехід від класичного викладання теоретичного матеріалу (зазвичай монотонне вимовляння з ігноруючим поглядом понад головами слухачів) до новачійних прийомів сприяє якісному зростанню ефективності процесу навчання і освітньої послуги та можна співставити зі створенням високобюджетних творів у кіноіндустрії: здивувати (феєрверк або свіжі спецефекти); примусити завагатися (каскадери і акробати); відчуття загадки/таємниці (фокусники/факіри тощо). Можливо скористатися нововведеннями за формою та змістом викладання, серед яких може бути екстравагантний вигляд або форма вимовляння лектора (звісно, естетично та змістовно доведені), кросворди-ребуси, девізи-лозунги, вірші, а може й пісні (той же реп або рок). У даному випадку «спільна гра» викладача, як «режисера» та студента, як «актора» має змусити останнього, після ефекту здивування, завагатися та виявити бажання змінити свій спосіб життя через аналіз своєї поведінки, на основі своїх власних дій, незадоволеності побутом, безпосереднім оточенням, вимог часу тощо.

Остаточним результатом залучення студента до самостійного розгадування «таємниць» та особливостей майбутньої спеціальності та обраної спеціалізації має призвести до розв'язання протиріччя з уявленнями про самого себе, як «споживача образів», й про навколишню дійсність, як-от проблеми розвитку суспільства, становлення індивіда, пізнання світу та остаточно закріпити цінності/ідеали май-

бутнього випускника. Важливим в цьому є застосування прикладної освіти, за якої задається межа взаємодії раціонального та ірраціонального й додається крапля розсудливості/здорового глузду, внаслідок чого студенти перестають мріяти, а переходять до проєктування і складання бізнес-планів за обраною спеціальністю та мають отримати задоволення від очікуваних результатів.

У підсумку до другої частини нашого дослідження визначимо, що система технічної ВО в Україні увійшла до стадії колапсу, що очевидно та вимагає негайних дій, враховуючи, що у нас мертвим вантажем лежать необхідні для цього ресурси. Для виправлення ситуації першорядними пропонується: *по перше* - якнайшвидший перехід до інтерактивних методик навчання студентів. Необхідно створювати не підручники, а цикли ключових лекцій у відео форматі, і, що особливо важливо – тематичні цикли науково-популярних фільмів, у яких повинні бути просто, зрозуміло і наочно зафіксовані найважливіші технологічні процеси, що відбуваються на реальному виробництві, з коментарями фахівців таких підприємств. Цей медіа контент повинен бути зведений до єдиної бази даних університету, доступ до неї повинен бути платним, а конфіденційність з'єднання забезпечуватися індивідуальними пароллями. Подібні методики (зокрема, тестування слухачів освітніх програм) вже напрацьовані, наприклад, в компанії «Сканія», і показали себе дуже ефективно. Роль викладача у такій системі освіти зведеться до систематичної перевірки знань студентів, консультацій, проведення лабораторних робіт, практичних занять, керівництва виробничою практикою тощо. Розраховувати на державні кошти при створенні такої бази медіа даних не доводиться. Фінансове забезпечення такого проєкту може бути здійснене тільки за допомоги міжнародного гранту, і за дольової участі світових виробників промислової техніки та її користувачів в Україні.

Тому треба скликати нараду за участі керівників таких підприємств, як-от ТОВ «ШБ «Альтком», ТОВ «ОНУР КОНСТРУКЦІОН ІНТЕРНЕТШНЛ», ТОВ «СП Автострада», ТОВ «Автомагістраль – Південь» тощо, попросити їх про міжнародну підтримку НТУ щодо надання гранту, і дізнатися про можливість, умови і перспективи їх дольової участі у проєкті створення фільмів, що стануть для них найпотужнішою цільовою рекламою із усіх можливих. Фільми можна буде перекладати іншими мовами, торгувати ними не тільки в Україні, а й за кордоном. Але на даний час такі проєкти в Україні є абсолютно безнадійними через відсутність ринку інтелектуальної власності.

Тому *друга пропозиція*, що є ключовою – наш університет розробив безліч винаходів і технологій, що широко використовуються як в Україні, так і за кордоном. Біда в одному – ніхто не платить у встановленому законом порядку за їх використання ні університету, ні авторам. Так відбувається тому, що ці винаходи і технології, іншими словами – нематеріальні активи, в Україні не обліковуються, не зараховуються на бухгалтерський облік підприємств і установ, що їх продукують або використовують, а фіскальні органи не перевіряють ні такої звітності, ні законності використання об'єктів інтелектуальної власності. Щодо цінності таких активів, то вона дуже висока, і визначається нормативними документами, зокрема, це Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 8 «Нематеріальні активи», затверджене наказом №242 міністерства фінансів України ще 1999 року. Тобто нормативна база в цьому питанні ідеальна, за одним винятком: за тридцять років КМУ так і не дав завдання податковій інспекції щодо розробки інструкції про порядок перевірки бухгалтерського обліку нематеріальних активів, що продукуються або використовуються установами та підприємствами. Це єдина причина, з якої в Україні досі немає ринку інтелектуальної власності, і вирішити цю проблему може тільки уряд, однією єдиною інструкцією для податківців.

НТУ – це крупний національний виробник об'єктів майнових прав інтелектуальної власності, але ні він, ні його автори за це не отримують належної винагороди (роялті). Тому, якщо КМУ і надалі утримуватиметься від запуску такого ринку, нам доведеться закритися разом з усією економікою держави, або стати зачинателями у цьому важливому питанні.

### Висновки з даного дослідження.

На засадах системного, концептуально-методологічного та програмного підходів досліджені проблеми вищої освіти під час пандемії коронавірусу та накопичений вітчизняний й закордонний досвід її вирішення, що дозволило розкрити парадокс та парадигму освітньої, наукової й прикладної діяльності кафедри аеропортів за умов невизначеності карантину.

Розкрито механізм побудови нової моделі навчання, що заснована на принципах встановлення механізму системного впровадження компетентнісного підходу та застосування інноваційних технологій з використанням елементів дистанційного навчання.

Представлений парадокс освітньо-наукової й прикладної діяльності кафедри в умовах невизначеності карантину, що виявив спроможність виконання через мобілізацію всіх наявних можливостей та ресурсів технічного забезпечення та швидкого підлаштування співробітників під вимоги цих змін, що підтверджено результатами річного звіту.

Представлено концептуальну модель діяльності кафедри, як Лабораторії системних знань та раціональних інфраструктурних рішень у складі університету, що позиціонується як Регіональний освітньо-науковий логістичний центр та функціонує на засадах аутсорсингу в умовах невизначеності карантину.

Парадигма діяльності Лабораторії полягає у синтезі освітньо-професійних програм «Аеропорти, аеродромні конструкції та споруди» та «Системний аналіз в транспортній інфраструктурі» факультету транспортного будівництва для подальшого просування ідеї подвійного диплому/ступеня, що надаються після успішного завершення здобувачем спільної освітньої програми певного циклу/рівня вищої освіти.

Враховуючи функціональну спрямованість Лабораторії на взаємодію із зацікавленими сторонами, запропоновано просування дуальної форми здобуття вищої освіти з метою адресної підготовки кадрового потенціалу дорожньо-транспортного профілю.

Розкрито можливість діяльності кафедри аеропортів за умов інклюзивного середовища.

Запропоновано залучення університетських фахівців та студентів з іноземних мов до якісного технічного перекладу матеріалів та результатів наукових досліджень для їх представлення до науково-метричних баз даних або до переліку фахових видань України, що дозволить заглиблення у предмет навчання та постійну практику перекладу та економію ресурсів авторів на якісний переклад.

Внаслідок проведеного SWOT-аналізу діяльності кафедри аеропортів, визначено нову місію, бачення, стратегічні напрями та орієнтири кафедри аеропортів за умов невизначеності викликані пандемією коронавірусу на 2021-2022 роки.

Представлено реалізацію компетентнісного алгоритму «знання теорії – вміння прикладного застосування – навички володіння технологіями» та розглянуто організаційний, методичний та технологічний блоки можливої змішаної форми навчання за умов невизначеності пандемії коронавірусу.

### Перелік посилань

[1] Vision 2050. The new agenda for business. World Business Council for Sustainable Development. 2010. February. URL: [www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org).

[2] Денніс К., Аппі Д. Після автомобілізму. – Київ: ТОВ «Темпора», 2010. – 254 с.

[3] Окінавська хартія глобального інформаційного суспільства (2018) // Studies.in.ua. URL: <http://studies.in.ua/inform-pravo-shporu/2504-osnovn-risi-suchasnogo-nformacynogo-susplstva.html>.

[4] Rennie, J.J. (2015) Making a Scene: Producing Media Literacy Narratives in Canada. University of Toronto. URL: [hdl.handle.net](http://hdl.handle.net). Retrieved from <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/71312>.

[5] Hechinger J. and Lorin J. (2020) Coronavirus Forces \$600 Billion Higher Education Industry Online // Bloomberg Businessweek. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-19/colleges-are-going-online-because-of-the-coronavirus>.

- [6] Colley T., Granelli F. and Althuis J. (2020) Disinformation's Societal Impact: Britain, Covid, And Beyond // Defence Strategic Communications: v. 8 / Spring 2020. The official journal of the NATO Strategic Communications Centre of Excellence: Riga, Latvia. URL: <https://www.stratcomcoe.org/tcolley-fgranelli-and-jalthuis-disinformations-societal-impact-britain-covid-and-beyond>.
- [7] McLaughlin A. (2020) The ten most dangerous coronavirus myths debunked. URL: <https://www.kcl.ac.uk/blog-the-ten-most-dangerous-coronavirus-myths-debunked-1>.
- [8] Освітні практики із запобігання інфодемії, або Як не ізолюватися від правди: навч. посібник / О. Волошенюк, Г. Дегтярьова, М. Каліберда та інші // За ред. Волошенюк О., Євтушенко Р., Іванова В., Кулакова А. – Київ: АУП, Інтерньюз–Україна, ЦВП, 2020. – 68 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zHir5m1MG3vZdIDjuvYcpA1Z413HCXGH/view>.
- [9] Рекомендації психолога про поведінку під час карантину (2020). URL: <http://if.kubg.edu.ua/resursi/psikhologi-informuyut/rekomendatsii-psykholoha-pro-povedinku-pid-chas-karantynu.html>.
- [10] Соціалізація особистості в умовах системних змін: теоретичні та прикладні проблеми: тези XV Міжнародної науково-практичної конференції (20 березня 2020 року, м. Київ) / За наук. ред. С.Д. Максименка, Л.М. Карамушки, О.І. Власової, Н.М. Дембицької, О.В. Лавренко, О.В. Креденцер. – Київ: Інститут психології імені Г.С.Костюка НАПН України, 2020. – 135 с. URL: [http://psychology-naes-ua.institute/files/pdf/zbirnik\\_tez\\_15\\_konf\\_socializaciya\\_osobistosti...-20-04-2020\\_1586892193.pdf](http://psychology-naes-ua.institute/files/pdf/zbirnik_tez_15_konf_socializaciya_osobistosti...-20-04-2020_1586892193.pdf).
- [11] Шість проблем української вищої освіти, що виявив карантин (2020). URL: <https://osvita.ua/vnz/74767>.
- [12] Дмитрієв М.М. Втілення інноваційних технологій вищої освіти – вимога часу / М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, І.М. Вакарчук та інші // Тези LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структур. підр. унів: Секція «Реформування освітнього процесу в контексті вимог Європейської кредитно-трансферної системи навчання (ЄКТС)». – К.: НТУ, 2020. – С. 441. URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>.
- [13] Подковко Х.В. Інноваційні технології навчання в контексті компетентнісного підходу в освіті / Х.В. Подковко // Медична освіта, 2016, № 1. – С. 41–43. URL: DOI 10.11603/me.v0i1.6360.
- [14] Гаращук О. Освітньо-наукова парадигма сталого розвитку продуктивних сил України / О. Гаращук, В. Куценко // Проблеми і перспективи економіки та управління, №3(7), 2016. – С. 135-141. URL: [http://journals.stu.cn.ua/problems\\_and\\_prospects\\_economics\\_management/article/view/97138](http://journals.stu.cn.ua/problems_and_prospects_economics_management/article/view/97138).
- [15] Михайліченко М. Освітні технології: навчальний посібник / М. Михайліченко, Я. Рудик // – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 583 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/316190546\\_Osvitni\\_tehnologii](https://www.researchgate.net/publication/316190546_Osvitni_tehnologii).
- [16] Цифрова компетентність вчителя DigCompEdu. Технології та системи дистанційного навчання. URL: <http://dystosvita.blogspot.com/2018/04/digcompedu.html>.
- [17] Силабус для змішаного та/або дистанційного навчання. Центр забезпечення якості освіти Національного університету «Києво-Могилянська академія», 2018. URL: [https://www.ukma.edu.ua/images/docs/QA/SYLABUS\\_FOR\\_MIXED\\_DISTANCE\\_EDUCATION.pdf](https://www.ukma.edu.ua/images/docs/QA/SYLABUS_FOR_MIXED_DISTANCE_EDUCATION.pdf).
- [18] Планування курсу – конструктивне узгодження. Центр забезпечення якості освіти Національного університету «Києво-Могилянська академія», 2018. URL: <https://www.ukma.edu.ua/index.php/osvita/quality-edu/korysni-materialy>.
- [19] Marunych V. Perspectives of the Accumulative System «How to Become a Ministry of Transport and Infrastructure?» / V. Marunych, I. Vakarchuk, V. Kharuta, M. Tyshkevych // Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: NTU, 2019. – Issue 3 (45). – P. 103–112. URL: [file:///C:/Users/Irop/Downloads/Vntu\\_2019\\_3\\_15.pdf](file:///C:/Users/Irop/Downloads/Vntu_2019_3_15.pdf).

[20] Давліканова О. Аналітичний звіт за результатами першого року проведення експерименту із запровадження пілотного проєкту у закладах фахової передвищої та вищої освіти з підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти / О. Давліканова, Т. Іщенко, А. Чайковська // Науково-методичний центр ВФПО та Представництво Фонду ім. Фрідріха Еберта в Україні. – Київ, 2020. – 96 с. URL: <https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2020/09/dualna-web-15-53.pdf>.

[21] Порошенко М.А. Інклюзивна освіта: навчальний посібник / М.А. Порошенко // – Київ : ТОВ «Агентство «Україна», 2019. – 300 с. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/inkluzivne-navchannya/posibniki/inkluziyavnz.pdf>.

[22] International Higher Education (2020) // The Boston College Center For International Higher Education: Special Issue №102 (2020). URL: <https://www.internationalhighereducation.net/api-v1/article/!/action/getPdfOfArticle/articleID/2922/productID/29/filename/article-id-2922.pdf>.

[23] Hudzik J.K. (2020) Higher education internationalists need to be disruptive // University World News. URL: <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20200501144452900>.

[24] Барнетт Р. Осмысление университета // «Образование в современной культуре», Центр проблем развития образования БГУ. Альманах №1, 1997. URL: [www.edc.bsu.by](http://www.edc.bsu.by).

[25] Barnett R. (2000) University Knowledge in an Age of Supercomplexity // University College London: December 2000 Higher Education 40(4): – P. 409–422. DOI: 10.1023/A:1004159513741. URL: [https://www.researchgate.net/publication/227010092\\_University\\_Knowledge\\_in\\_an\\_Age\\_of\\_Supercomplexity](https://www.researchgate.net/publication/227010092_University_Knowledge_in_an_Age_of_Supercomplexity).

[26] Søren S.E. Bengtsen (2018). Supercomplexity and the university: Ronald Barnett and the social philosophy of Higher Education // Higher Education Quarterly. 2018; Volume72, Issue1: – P. 65–74. URL: <https://doi.org/10.1111/hequ.12153>.

[27] Barnett R. The Ecological University: A Feasible Utopia // London : Routledge, 2017, – 228 p. URL: <https://www.ronaldbarnett.co.uk/books.php>.

[28] Staley D.J. (2019) Alternative Universities: Speculative Design for Innovation in Higher Education // Baltimore, USA : Johns Hopkins University Press: Hardcover, – 280 p. URL: <https://www.goodreads.com/book/show/42453188-alternative-universities>.

[29] Goldratt E.M. (2018) It's Not About Luck. URL: <http://www.management.com.ua/books/view-books.php?id=1077>.

[30] Doyle A. (2020) Top Soft Skills Employers Value With Examples // The Balance Careers: September 17, 2020. URL: <https://www.thebalancecareers.com/list-of-soft-skills-2063770>.

[31] Galloway S. (2020) We are barreling toward a caste system, sequestering kids by income - NYU professor Scott Galloway. URL: <https://www.insider.com/nyu-professor-scott-galloway-how-to-fix-income-inequality-kids-2020-1>.

[32] Maloney, E.J. and Kim, J. (2020) 15 Fall Scenarios. Higher education in a time of social distancing // INSIDE HIGHER ED. URL: [https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/learning-innovation/15-fall-scenarios?fbclid=IwAR0Ry65CO6NpCjO0WdwJBkHKHif86FJoxXTBYGQJiCQFsVQ\\_ttaeNrtXylU](https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/learning-innovation/15-fall-scenarios?fbclid=IwAR0Ry65CO6NpCjO0WdwJBkHKHif86FJoxXTBYGQJiCQFsVQ_ttaeNrtXylU).

[33] Frankfurt T. (2020) How The Pandemic Could Forever Change Higher Education // Forbes Technology Council. Paid Program Innovation. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/05/08/how-the-pandemic-could-forever-change-higher-education/#455bb25f7b93>. [30] Збірник нормативних документів щодо роботи закладів освіти на період карантину у зв'язку з поширенням коронавірусної хвороби (COVID-19) // МОНУ та Мінздрав, вересень 2020. – 153 с. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/prezentovano-zbirnik-normativnih-dokumentiv-dlya-roboti-zakladiv-osviti-pid-chas-karantinu>.

[34] Дмитриченко М.Ф. Трансфер технологій як засіб інноваційного розвитку дорожньо-транспортного комплексу України: монографія / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв [та ін.]. – К.: НТУ, 2015. – 104 с.

[35] Дмитриченко М.Ф. Трансфер технологій – інноваційна складова розвитку науки: навч. посіб. / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв [та ін.]. – К.: НТУ, 2015. – 140 с.

[36] Дмитриченко М.Ф. Інноваційна діяльність та трансфер технологій: навч. посіб. / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, С.О. Корітчук, Д.І. Дятчик, Т.В. Покшевицька. – К.: НТУ, 2016. – 100 с.

[37] China's education modernisation plan towards 2035 (2021). Information as at 1 April 2020 URL: <https://internationaleducation.gov.au/international-network/china/PolicyUpdates-China/Pages/China's-education-modernisation-plan-towards-2035-.aspx>.

[38] Збірник нормативних документів щодо роботи закладів освіти на період карантину у зв'язку з поширенням коронавірусної хвороби (COVID-19) // МОНУ та Мінздоров, вересень 2020. – 153 с. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/prezentovano-zbirnik-normativnih-dokumentiv-dlya-roboti-zakladiv-osviti-pid-chas-karantinu>.

[39] Проект Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2021–2031 роки // МОНУ, 2020. URL: [http://www.reform.org.ua/proj\\_edu\\_strategy\\_2021-2031.pdf](http://www.reform.org.ua/proj_edu_strategy_2021-2031.pdf).

[40] Gameliak I.P. (2021) System analysis in transport infrastructure / I.P. Gameliak, M.M. Dmitriev, I.M. Vakarchuk, I.A. Sutuga // Highways and Road Construction. – Kyiv: NTU, 2021. – Issue 109. – P. 103–112. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo.html](http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo.html).

**THE PARADOX AND PARADIGM OF SYSTEM ACTIVITY OF THE AIRPORTS  
DEPARTMENT OF THE NATIONAL TRANSPORT UNIVERSITY IN UNCERTAINTY  
CONDITIONS. PART II: CONTINUED**

**Gameliak Igor Pavlovich**, Doctor of Technical Science (s), professor, Head at the Department of Airports, National Transport University, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 344, e-mail: [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com), тел. +380503524124, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

**Vakarchuk Ihor Mykolayovych**, Ph.D in Technical Science, Associate Professor at the Department of Airports, National Transport University, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 344, e-mail: [imvsor@gmail.com](mailto:imvsor@gmail.com), тел. (+38044)280-70-73, <https://orcid.org/0000-0002-9693-1744>.

**Ivanova Oleksandra Olehivna**, Student at the Department of Airports, National Transport University, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 344, e-mail: [aleks.iv.2718@gmail.com](mailto:aleks.iv.2718@gmail.com), тел. (+38044)280-70-73, <https://orcid.org/0000-0003-1563-4586>.

**Abstract:** The article reveals the paradox and paradigm of educational, scientific and applied activities on the example of the Airports Department of the National Transport University during the specialists for the transport and road complex training in the field of «Airports, aerodrome constructions and structures» and «System analysis in transport infrastructure» in conditions of coronavirus pandemic uncertainty.

The presented author's model is based on the principles of establishing the systematic competency approach implementation mechanism and innovative technologies of distance learning application, which was obtained in the process of domestic and foreign experience analysis under coronavirus pandemic uncertainty.

The research object – educational, research and applied activities of the Airports Department, as a Laboratory of Systems Knowledge and Rational Infrastructure Solutions within the National Transport University, which is positioned as a Regional Educational and Research Logistics Center on the basis of outsourcing in distance learning and coronavirus pandemic uncertainty.

The purpose of the work is to establish a mechanism for competency approach systematic implementation and innovative technologies application for the «teacher–student–employer» relationship, which allows to determine the most effective ways and means to achieve the ultimate goals of educational,

scientific and applied activities in the coronavirus pandemic uncertainty. providing highly qualified personnel to the transport and road complex of the country.

Research methods – system, conceptual, methodological and program approaches.

Establishing of a mechanism for the model «teaching methods–learning outcomes–assessment» applying innovative technologies according to the competency algorithm «knowledge of theory–application skills–technology skills» to strengthening the relationship «teacher–student–employer», will bring the results of the educational process to employers requirements and provide the transport and road complex with highly qualified personnel.

Further development of the study object – the introduction of educational, scientific and applied activities «Laboratory of Systems Knowledge and Rational Infrastructure Solutions» as part of the «Regional Educational and Scientific Logistics Center», will achieve the ultimate goals of providing transport complex by highly qualified personnel in terms of distance learning and coronavirus pandemic uncertainty.

**Key words:** paradox, paradigm, department, university, education, scientific and applied activities, pandemic, uncertainty, system knowledge, rational solutions.

### References

[1] Vision 2050 (2010). The new agenda for business. World Business Council for Sustainable Development. 2010. February. URL: [www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org).

[2] Dennis K., Urry J. (2010) Pislya avtomobilizmu [K. Dennis, J. Urry. After the Car. – Cambridge: Polity Press, 2009]. – Kyiv: TOV «Tempora» – Tempora LLC, 2010. – 254 s. [in Ukrainian]

[3] Okinavs'ka khartiya hlobal'noho informatsynoho suspil'stva (2018) [Okinawa Charter of the Global Information Society] // Studies.in.ua. URL: <http://studies.in.ua/inform-pravo-shporu/2504-osnovn-risi-suchasnogo-nformacynogo-susplstva.html>. [in Ukrainian]

[4] Rennie, J.J. (2015) Making a Scene: Producing Media Literacy Narratives in Canada. University of Toronto. URL: <hdl.handle.net>. Retrieved from <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/71312>.

[5] Hechinger J. and Lorin J. (2020) Coronavirus Forces \$600 Billion Higher Education Industry Online // Bloomberg Businessweek. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-19/colleges-are-going-online-because-of-the-coronavirus>.

[6] Colley T., Granelli F. and Althuis J. (2020) Disinformation's Societal Impact: Britain, Covid, And Beyond // The official journal of the NATO Strategic Communications Centre of Excellence: Riga, Latvia, Defence Strategic Communications: V. 8 / Spring, 2020. URL: <https://www.stratcomcoe.org/tcolley-fgranelli-and-jalthuis-disinformations-societal-impact-britain-covid-and-beyond>.

[7] McLaughlin A. (2020) The ten most dangerous coronavirus myths debunked. URL: <https://www.kcl.ac.uk/blog-the-ten-most-dangerous-coronavirus-myths-debunked-1>.

[8] Osvitni praktyky iz zapobihannya infodemiyyi, abo Yak ne izolyuvatsya vid pravdy (2020): navch. posibnyk [Educational practices to prevent infodemia, or How not to isolate yourself from the truth] / Voloshenyuk O., Dehtyar'ova H., Kaliberda M. ta inshi // Za red. Voloshenyuk O., Yevtushenko R., Ivanova V., Kulakova A. – Kyiv: AUP, Intern'yuz–Ukrayina – Internews–Ukraine, TSVP, 2020. – 68 s. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zHir5m1MG3vZdIDjuvYcpA1Z4I3HCXGH/view>. [in Ukrainian]

[9] Rekomendatsiyi psykholoha pro povedinku pid chas karantynu (2020) [Psychologist's recommendations on behavior during the quarantine]. URL: <http://if.kubg.edu.ua/resursi/psikhologi-informuyut/rekomendatsii-psykholoha-pro-povedinku-pid-chas-karantynu.html>. [in Ukrainian]

[10] Sotsializatsiya osobystosti v umovakh systemnykh zmin: teoretychni ta prykladni problemy (2020) [Socialization of personality in the conditions of system changes: theoretical and applied problems]: tezy XV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (20 bereznya 2020 roku, m. Kyiv) / Za nauk. red. S.D. Maksymenka, L.M. Karamushky, O.I. Vlasovoyi, N.M. Dembyts'koyi, O.V. Lavrenko, O.V. Kredentser. – Kyiv: Instytut psykholohiyi imeni H.S.Kostyuka NAPN Ukrayiny, 2020. – 135 c. URL: <http://psychology->

naes-ua.institute/files/pdf/zbirnik\_tez\_15\_konf.\_\_socializaciya\_osobistosti...-20-04-2020\_1586892193.pdf.  
[in Ukrainian]

[11] Shist' problem ukrayins'koyi vyshchoyi osvity, yaki vyyavyv karantyn (2020) [The six problems of Ukrainian higher education identified by quarantine]. URL: <https://osvita.ua/vnz/74767>. [in Ukrainian]

[12] Dmytriiev M.M. (2020) Vtilennya innovatsiynikh tekhnolohiy vyshchoyi osvity – vymoha chasu [Implementation of innovative technologies of higher education – the requirement of time] / M.M. Dmytriiev, I.P. Hamelyak, I.M. Vakarchuk ta inshi // Tezy LXXVI naukovoї konferentsiyi profesors'ko-vykladats'koho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobotnykiv vidokremlyenykh strukturnykh pidrozdiliv universytetu: Sektsiya «Reformuvannya osvitynoho protsesu v konteksti vymoh Yevropeys'koyi kredytno-transfernoyi systemy navchannya (EKTS)». – K.: NTU, 2020. – С. 441. URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>. [in Ukrainian]

[13] Podkovko Kh.V. (2016) Innovatsiyni tekhnolohiyi navchannya v konteksti kompetentnisnoho pidkhodu v osviti [Innovative learning technologies in the context of the competence approach in education] / Kh.V. Podkovko // Medychna osvita – Medical education, 2016, № 1. – С. 41–43. URL: DOI 10.11603/me.v0i1.6360. [in Ukrainian]

[14] Harashchuk O. (2016) Osvitno–naukova paradyhma staloho rozvytku produktyvnykh syl Ukrayiny [Educational and scientific paradigm of sustainable development of the productive forces of Ukraine] / O. Harashchuk, V. Kutsenko // Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnya – Problems and prospects of economics and management, №3(7), 2016. – С. 135-141. URL: [http://journals.stu.cn.ua/problems\\_and\\_prospects\\_economics\\_management/article/view/97138](http://journals.stu.cn.ua/problems_and_prospects_economics_management/article/view/97138). [in Ukrainian]

[15] Mykhaylichenko M. (2016) Osvitni tekhnolohiyi: navchal'nyy posibnyk [Educational technologies: textbook] / M. Mykhaylichenko, Y. Rudyk // – K.: TSP «KOMPRINT» – CP «KOMPRINT». URL: [https://www.researchgate.net/publication/316190546\\_Osvitni\\_tehnologii](https://www.researchgate.net/publication/316190546_Osvitni_tehnologii). [in Ukrainian]

[16] Tsyfrova kompetentnist' vchytelya DigCompEdu (2018) [Digital Competence Framework for Educators] // Tekhnolohiyi ta systemy dystantsiynoho navchannya – Technology and Distance Learning System. URL: <http://dystosvita.blogspot.com/2018/04/digcompedu.html>. [in Ukrainian]

[17] Syllabus dlya zmishanoho ta/abo dystantsiynoho navchannya (2018) [Syllabus for Mixed and / or Distance Learning] // Tsentр zabezpechennya yakosti osvity NU «Kyievo-Mohylyans'ka akademiya» – Center for Education Quality Assurance, National University of «Kyiv-Mohyla Academy». URL: [https://www.ukma.edu.ua/images/docs/QA/SYLLABUS\\_FOR\\_MIXED\\_DISTANCE\\_EDUCATION.pdf](https://www.ukma.edu.ua/images/docs/QA/SYLLABUS_FOR_MIXED_DISTANCE_EDUCATION.pdf). [in Ukrainian]

[18] Planuvannya kursu – konstruktivne uzgodzhennya (2018) [Course planning – constructive coordination] // Tsentр zabezpechennya yakosti osvity NU «Kyievo-Mohylyans'ka akademiya» – Center for Education Quality Assurance, National University of «Kyiv-Mohyla Academy». URL: <https://www.ukma.edu.ua/index.php/osvita/quality-edu/korysni-materialy>. [in Ukrainian]

[19] Marunych V. (2019) Perspectives of the Accumulative System «How to Become a Ministry of Transport and Infrastructure?» / V. Marunych, I. Vakarchuk, V. Kharuta, M. Tyshkevych // Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: NTU, 2019. – Issue 3 (45). – P. 103–112. URL: [file:///C:/Users/Irop/Downloads/Vntu\\_2019\\_3\\_15.pdf](file:///C:/Users/Irop/Downloads/Vntu_2019_3_15.pdf).

[20] Davlikanova O. (2020) Analitychnyy zvit za rezul'tatamy pershoho roku provedennya eksperymentu iz zaprovadzhennya pilotnoho proyektu u zakladakh fakhovoyi peredvyshchoyi ta vyshchoyi osvity z pidhotovky fakhivtsiv za dual'noyu formoyu zdobuttya osvity [Analytical report on the results of the first year of the experiment on the introduction of a pilot project in institutions of professional higher and higher education for the training of specialists in the dual form of education] / O. Davlikanova, T. Ishchenko, A. Tchaikovsky // Scientific and Methodical Center of VFPO and Representation of the Foundation named after Friedrich Ebert in Ukraine. – Kyiv, 2020. – 96 с. URL: <https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2020/09/dualna-web-15-53.pdf>. [in Ukrainian]

- [21] Poroshenko M.A. (2019) *Inklyuzyvna osvita: navchal'nyy posibnyk* [Inclusive education: a textbook] / M.A. Poroshenko // – Kyiv : TOV «Ahentstvo «Ukrayina» – Ukraine Agency LLC, 2019. – 300 c. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/inklyuzyvne-navchannya/posibniki/inklyuziyavnz.pdf>. [in Ukrainian]
- [22] International Higher Education (2020) // The Boston College Center For International Higher Education: Special Issue №102 (2020). URL: <https://www.internationalhighereducation.net/api-v1/article/!/action/getPdfOfArticle/articleID/2922/productID/29/filename/article-id-2922.pdf>.
- [23] Hudzik J.K. (2020) Higher education internationalists need to be disruptive // *University World News*. URL: <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20200501144452900>.
- [24] Barnett R. (1997) *Osmysleniye universiteta* [Making sense of the university] // «*Obrazovaniye v sovremennoy kul'ture*» – Education in modern culture, Tsentr problem razvitiya obrazovaniya BGU. *Al'manakh* №1, 1997. URL: [www.edc.bs.u.by](http://www.edc.bs.u.by). [in Russian]
- [25] Barnett R. (2000) *University Knowledge in an Age of Supercomplexity* // *University College London: December 2000 Higher Education* 40(4): – P. 409–422. DOI: 10.1023/A:1004159513741. URL: [https://www.researchgate.net/publication/227010092\\_University\\_Knowledge\\_in\\_an\\_Age\\_of\\_Supercomplexity](https://www.researchgate.net/publication/227010092_University_Knowledge_in_an_Age_of_Supercomplexity).
- [26] Søren S.E. Bengtsen (2018). *Supercomplexity and the university: Ronald Barnett and the social philosophy of Higher Education* // *Higher Education Quarterly*. 2018; Volume72, Issue1: – P. 65-74. URL: <https://doi.org/10.1111/hequ.12153>.
- [27] Barnett R. (2017) *The Ecological University: A Feasible Utopia* // London : Routledge, 2017, – 228 p. URL: <https://www.ronaldbarnett.co.uk/books.php>.
- [28] Staley D.J. (2019) *Alternative Universities: Speculative Design for Innovation in Higher Education* // Baltimore, USA : Johns Hopkins University Press: Hardcover, – 280 p. URL: <https://www.goodreads.com/book/show/42453188-alternative-universities>.
- [29] Goldratt E.M. (2018) *It's Not About Luck*. URL: <http://www.management.com.ua/books/view-books.php?id=1077>.
- [30] Doyle A. (2020) *Top Soft Skills Employers Value With Examples* // *The Balance Careers*: September 17, 2020. URL: <https://www.thebalancecareers.com/list-of-soft-skills-2063770>.
- [31] Galloway S. (2020) *We are barreling toward a caste system, sequestering kids by income* – NYU professor Scott Galloway. URL: <https://www.insider.com/nyu-professor-scott-galloway-how-to-fix-income-inequality-kids-2020-1>.
- [32] Maloney, E.J. and Kim, J. (2020) *15 Fall Scenarios. Higher education in a time of social distancing* // *INSIDE HIGHER ED*. URL: [https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/learning-innovation/15-fall-scenarios?fbclid=IwAR0Ry65CO6NpCjO0WdwJBkHKhif86FJoxXTBYGQJiCQFsVQ\\_ttaeNrtXylU](https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/learning-innovation/15-fall-scenarios?fbclid=IwAR0Ry65CO6NpCjO0WdwJBkHKhif86FJoxXTBYGQJiCQFsVQ_ttaeNrtXylU).
- [33] Frankfurt T. (2020) *How The Pandemic Could Forever Change Higher Education* // *Forbes Technology Council*. Paid Program Innovation. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/05/08/how-the-pandemic-could-forever-change-higher-education/#455bb25f7b93>.
- [34] Dmytrychenko M.F. (2015) *Transfer tekhnolohiy yak zasib innovatsiynoho rozvytku dorozhn'o-transportnoho kompleksu Ukrayiny: monohrafiya* [Transfer of technologies as a means of innovative development of the road transport complex of Ukraine: monograph] / M.F. Dmytrychenko, M.M. Dmytryev [ta in.]. – K. : NTU, 2015. – 104 p. [in Ukrainian]
- [35] Dmytrychenko M.F. (2015) *Transfer tekhnolohiy – innovatsiyna skladova rozvytku nauky: navch. posib.* [Technology transfer - an innovative component of science development: textbook] / M.F. Dmytrychenko, M.M. Dmytryev [ta in.]. – K.: NTU, 2015. – 140 p. [in Ukrainian]

[36] Dmytrychenko M.F. (2016) Innovatsiyna diyal'nist' ta transfer tekhnolohiy: navch. posib. [Innovative activity and technology transfer: textbook] / M.F. Dmytrychenko, M.M. Dmytryiev, S.O. Koritchuk, D.I. Dyatchyk, T.V. Pokshevnyts'ka. – K.: NTU, 2016. – 100 p. [in Ukrainian]

[37] China's education modernisation plan towards 2035 (2021). Information as at 1 April 2020 URL: <https://internationaleducation.gov.au/international-network/china/PolicyUpdates-China/Pages/China's-education-modernisation-plan-towards-2035-.aspx>.

[38] Zbirnyk normatyvnykh dokumentiv shchodo roboty zakladiv osvity na period karantynu u zv'yazku z poshyrennyam koronavirusnoyi khvoroby COVID–19 (2020) [Collection of normative documents on the work of educational institutions for the period of quarantine in connection with the spread of coronavirus disease COVID–19] // MES and the Ministry of Health – MONU ta Minzdorov, veresen' 2020. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/prezentovano-zbirnik-normativnih-dokumentiv-dlya-roboti-zakladiv-osviti-pid-chas-karantynu>. [in Ukrainian]

[39] Proyeckt Stratehiyi rozvytku vyshchoyi osvity v Ukrayini na 2021–2031 roky [Draft Strategy for the Development of Higher Education in Ukraine for 2021–2031] // MONU– MESU, 2020. URL: [http://www.reform.org.ua/proj\\_edu\\_strategy\\_2021-2031.pdf](http://www.reform.org.ua/proj_edu_strategy_2021-2031.pdf). [in Ukrainian]

[40] Gameliak I.P. (2021) System analysis in transport infrastructure / I.P. Gameliak, M.M. Dmitriev, I.M. Vakarchuk, I.A. Sutuga // Highways and Road Construction. – Kyiv: NTU, 2021. – Issue 109. – P. 103–112. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo.html](http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo.html).

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

MATHEMATICAL MODEL OF ROAD TRAFFIC ACCIDENT DEVELOPMENT USING  
THE SYSTEM ANALYSIS THEORY



*Гусєв Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент Національний транспортний університет, доцент кафедри «Аеропорти», e-mail: avg\_ntu@yandex.ua, тел. +380442808402,*

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



*Рутковська Інєса Анатоліївна, кандидат технічних наук, професор Національний транспортний університет, професор кафедри «Аеропорти», e-mail: ria\_ntu@yandex.ua, тел. +380442807073,*

<https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>



*Герасименко Алла Володимирівна, старший викладач Національний транспортний університет, старший викладач кафедри «Аеропорти», e-mail: a\_gerasimenko@yandex.ua, тел. +380442808402*

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

**Анотація.** У статті розглянуті принципи та алгоритми створення математичної моделі ДТП на ділянці швидкісної магістралі з використанням теорії системного аналізу та системи масового обслуговування.

**Ключові слова:** системний аналіз, математична модель ДТП, система масового обслуговування.

**Постановка задачі.** Розглянемо ситуацію на швидкісній магістралі. Виділимо ділянку швидкісної магістралі довжиною „один автомобіль + відстань безпечного руху”. Будемо вважати, що поява автомобіля на початку виділеної ділянки – це запит на обслуговування, а пропустити автомобіль через усю виділену ділянку – це означає обслужити запит. Тобто виділену ділянку швидкісної магістралі можна представити як систему масового обслуговування (СМО) з відмовами, структурну схему якої може мати наступний вигляд.

Дослідження такої СМО з відмовами за допомогою класичних методів [5] є не доцільним через високу динаміку подій: статистичні показники інтенсивності надходження запитів суттєво відрізняються від пуассонівських, зіткнення автотранспортних засобів та ін. Все це приводить до різкої зміни динаміки подій на швидкісній магістралі, до непередбачуваної зміни станів СМО з відмовами. Для дослідження динаміки функціонування такої СМО створимо наступну математичну модель і методику її дослідження.

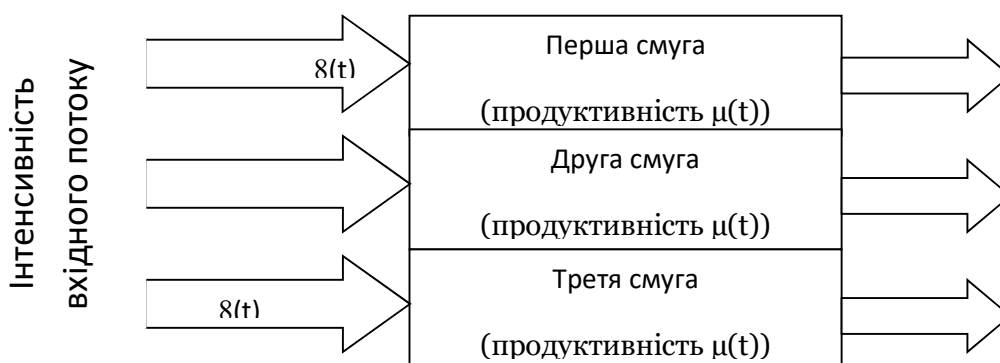


Рисунок 1 – Структурна схема ділянки дороги, представлені як СМО  
 Figure 1 - Block diagram of the road section presented as GS

Створення математичної моделі СМО з відмовами. Спочатку розглянемо випадок „спокійного” обслуговування запитів. Складемо наступний граф станів СМО.

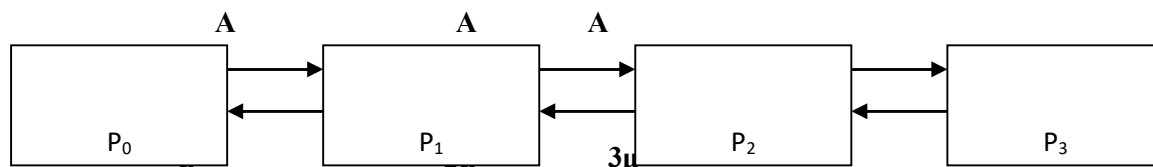


Рисунок 2 – Граф станів СМО з відмовами  
 Figure 2 - Graph of GS states with failures

Користуючись складеним графом станів СМО і правилом Колмогорова можна скласти математичну модель дослідження динаміки подій в системі масового обслуговування з відмовами у вигляді наступної системи диференціальних рівнянь першого порядку.

$$\frac{d}{dt}p_0 = -\lambda \cdot p_0 + \mu \cdot p_1$$

$$\frac{d}{dt}p_1 = \lambda \cdot p_0 - \lambda \cdot p_1 + 2\mu \cdot p_2 - \mu \cdot p_1$$

$$\frac{d}{dt}p_2 = \lambda \cdot p_1 - \lambda \cdot p_2 + 3 \cdot \mu \cdot p_3 - 2\mu \cdot p_2$$

$$\frac{d}{dt}p_3 = \lambda \cdot p_2 - 3 \cdot \mu \cdot p_3$$

Доповнимо її рівнянням-обмеженням:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1$$

Варіант 1. Уведемо перший набір початкових значень інтенсивностей потоків автомобілів на смугах дороги (початкові значення інтенсивностей надходження запитів на вході СМО):

$$\lambda_1 := 5.1 \quad \lambda_2 := 5.1 \quad \mu_2 := 3 \quad \mu_1 := 3$$

і протяжність часового інтервалу для дослідження СМО:  $t := 0..90$

Доповнимо алгоритм наступними двома програмами, за допомогою яких будемо керувати інтенсивністю надходження запитів і продуктивністю (інтенсивністю обслуговування запитів) СМО протягом інтервалу дослідження.

$$\lambda(t) := \begin{cases} \lambda_1 & \text{if } 30 < t < 60 \\ \lambda_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \mu(t) := \begin{cases} \mu_1 & \text{if } 30 < t < 60 \\ \mu_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Методика дослідження. Для отримання розв'язків системи звичайних диференціальних рівнянь використаємо метод Рунне-Кутта, реалізований засобами MathCAD. Для чого уведемо вектор початкових умов – вектор початкових значень невідомих і вектор-функцію D:

$$p := \begin{pmatrix} .5 \\ .5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D(t,p) := \begin{pmatrix} -\lambda(t) \cdot p_0 + \mu(t) \cdot p_1 \\ \lambda(t) \cdot p_0 - \lambda(t) \cdot p_1 + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2 - \mu(t) \cdot p_1 \\ \lambda(t) \cdot p_1 - \lambda(t) \cdot p_2 + 3 \cdot \mu(t) \cdot p_3 - 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2 \\ \lambda(t) \cdot p_2 - 3 \cdot \mu(t) \cdot p_3 \end{pmatrix}$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь використаємо вбудовану в MathCAD функцію:

$$Z := \text{rkfixed} (p, 0, 90, 1500, D)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь представимо у вигляді матриці розв'язків, часових графіків і фазових портретів – траєкторій зміни станів СМО у фазовому просторі:

Матриця розв'язків:

$$Z = \begin{array}{c|ccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.06 & 0.44 & 0.44 & 0.105 & 0.016 \\ 2 & 0.12 & 0.389 & 0.41 & 0.159 & 0.042 \\ 3 & 0.18 & 0.349 & 0.392 & 0.193 & 0.067 \\ 4 & 0.24 & 0.316 & 0.38 & 0.216 & 0.088 \end{array}$$

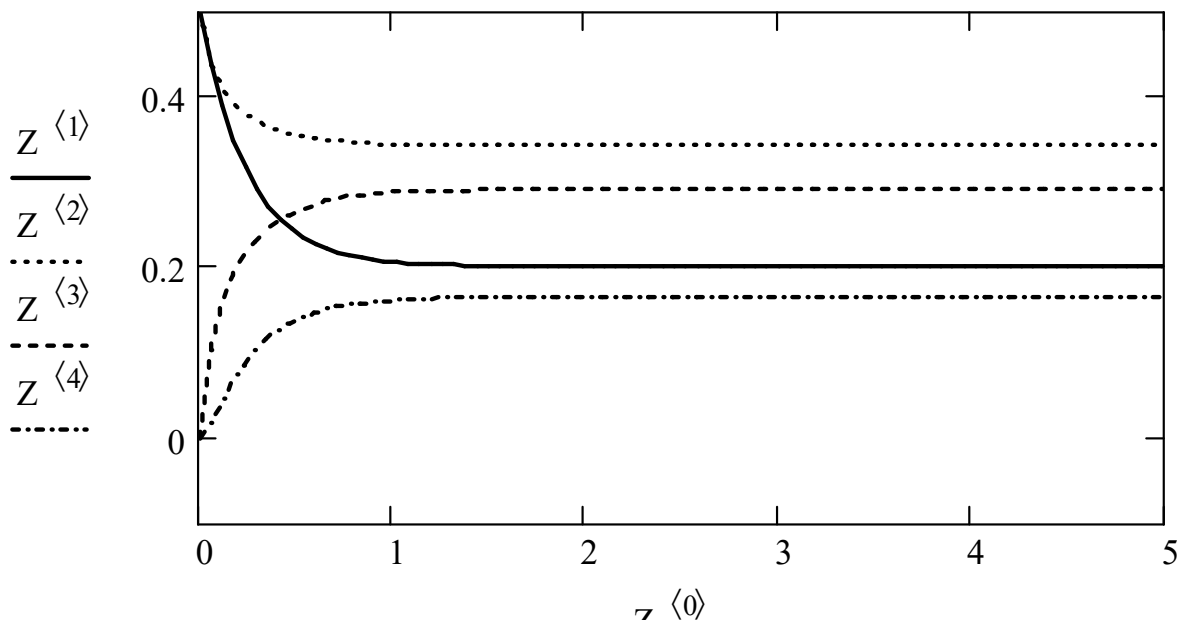


Рисунок 3 – Часові графіки розв’язків системи диференціальних рівнянь  
Figure 3 - Time graphs of the differential equations system solutions

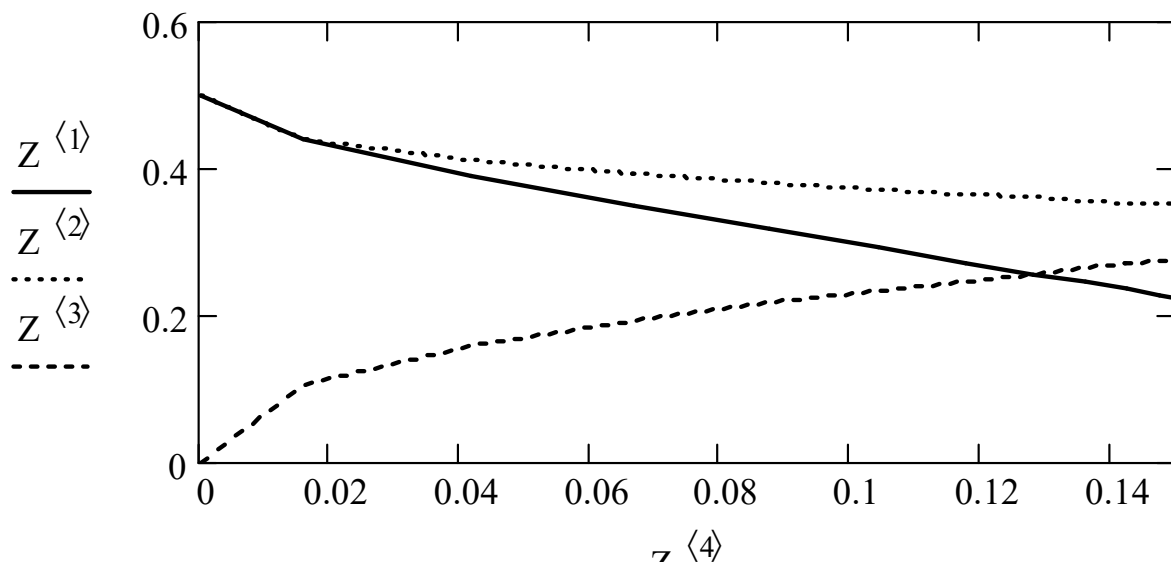


Рисунок 4 – Відносна динаміка зміни станів СМО  
Figure 4 - Relative dynamics of GS state changes

Аналіз динаміки станів СМО по результатах дослідження для першого набору інтенсивностей:  $\mu_1 = \mu_2 = 82$ ,

Аналіз результатів – динаміки розвитку подій по часових графіках розв’язків системи диференціальних рівнянь - показує, що в ідеальному випадку, коли інтенсивність надходження запитів мають постійне значення, система поводить себе „спокійно”: на початку інтервалу дослідження система переходить до сталого режиму і знаходиться в ньому до кінця часового інтервалу дослідження.

Варіант 2. Уведемо другий набір початкових значень інтенсивностей потоків автомобілів на смугах дороги (початкові значення інтенсивностей надходження запитів на вході СМО):  $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ,  $\mu_1 \ll \mu_2$ :

$$\lambda_1 := 3.1 \quad \lambda_2 := 5.1 \quad \mu_1 := 1.2 \quad \mu_2 := 3$$

і протяжність часового інтервалу для дослідження СМО:  $t := 0..90$

Доповнимо алгоритм наступними двома програмами, за допомогою яких будемо керувати інтенсивністю надходження запитів і продуктивністю (інтенсивністю обслуговування запитів) СМО протягом інтервалу дослідження.

$$\lambda(t) := \begin{cases} \text{rnd}(\lambda_1) + \frac{\lambda_1}{2} & \text{if } 30 < t < 60 \\ \lambda_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \mu(t) := \begin{cases} \text{rnd}(\mu_1) + \frac{\mu_1}{2} & \text{if } 30 < t < 60 \\ \mu_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

При цьому врахуємо надзвичайність ситуації – зіткнення автомобілів на одній із смуг дороги і ліквідацію наслідків зіткнення протягом інтервалу часу  $30 < t < 60$  на інтервалі дослідження, коли інтенсивність і продуктивність системи випадково змінюються. На цей час відбудеться перерозподіл вхідного потоку, наприклад за схемою, що показана на рис. 6.5.

Методика дослідження. Для отримання розв’язків системи звичайних диференціальних рівнянь, коефіцієнти при невідомих якої мають вигляд функцій, що утримують випадкову компоненту, яка враховує стихійність перерозподілу потоку автомобілів на вході СМО, знову використаємо метод Рунне-Кутта, реалізований засобами MathCAD. Для цього уведемо вектор початкових умов – вектор початкових значень невідомих і вектор-функцію D.

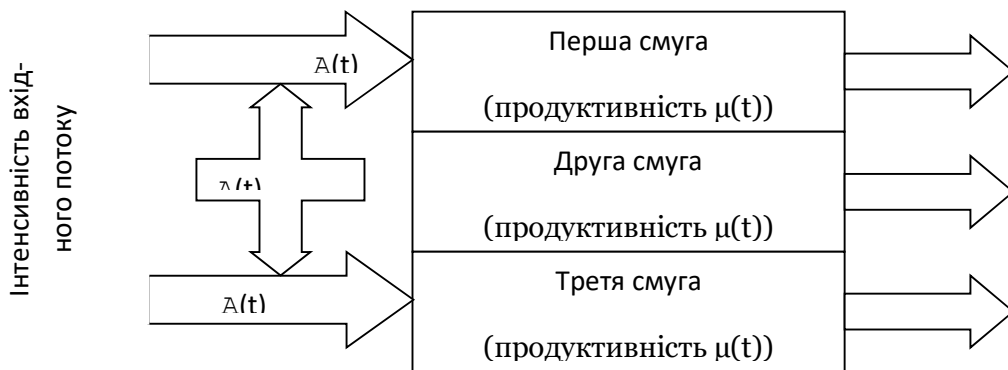


Рисунок 5 – Структурна схема ділянки дороги в надзвичайній ситуації, що представлена як СМО з відмовами

Figure 5 – Block diagram of the road section in an emergency, presented as a GS with failures

$$p := \begin{pmatrix} .5 \\ .5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D(t,p) := \begin{pmatrix} -\lambda(t) \cdot p_0 + \mu(t) \cdot p_1 \\ \lambda(t) \cdot p_0 - \lambda(t) \cdot p_1 + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2 - \mu(t) \cdot p_1 \\ \lambda(t) \cdot p_1 - \lambda(t) \cdot p_2 + 3 \cdot \mu(t) \cdot p_3 - 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2 \\ \lambda(t) \cdot p_2 - 3 \cdot \mu(t) \cdot p_3 \end{pmatrix}$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь використаємо вбудовану в MathCAD функцію:

$$Z := \text{rkfixed} (p, 0, 90, 1500, D)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь представимо у вигляді матриці розв'язків, часових графіків і фазових портретів – траєкторій зміни станів СМО у фазовому просторі:

Матриця розв'язків:

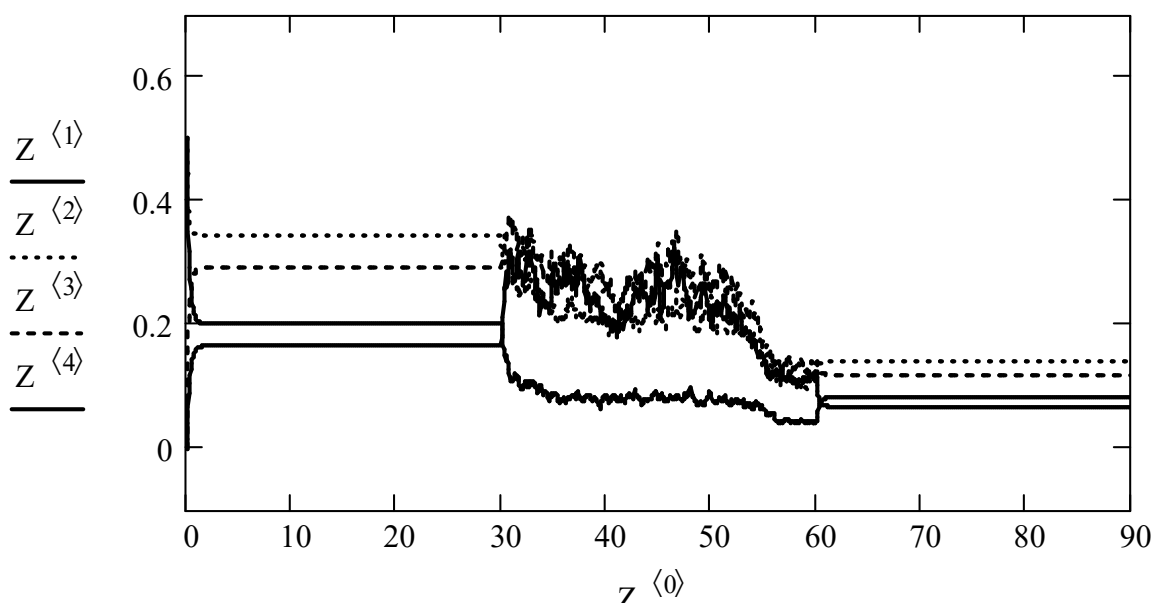
$$Z = \begin{array}{c|ccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.06 & 0.44 & 0.44 & 0.105 & 0.016 \\ 2 & 0.12 & 0.389 & 0.41 & 0.159 & 0.042 \\ 3 & 0.18 & 0.349 & 0.392 & 0.193 & 0.067 \\ 4 & 0.24 & 0.316 & 0.38 & 0.216 & 0.088 \end{array}$$


Рисунок 6 – Часові графіки розв'язків системи диференціальних рівнянь, що утримують випадкову компоненту на часовому інтервалі часу  $30 < t < 60$

Figure 6 – Time graphs of the differential equations system solutions that hold a random component in the time interval  $30 < t < 60$

Довжина „пробки” – кількість автомобілів  $m$ , що отримують відмову в обслуговуванні і накопичаються на вході СМО за період  $30 < t < 60$ :

$$t_a := 30 \quad m := t_a \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \quad m = \blacksquare$$

Відносна динаміка траєкторій у фазовому просторі матиме вигляд:

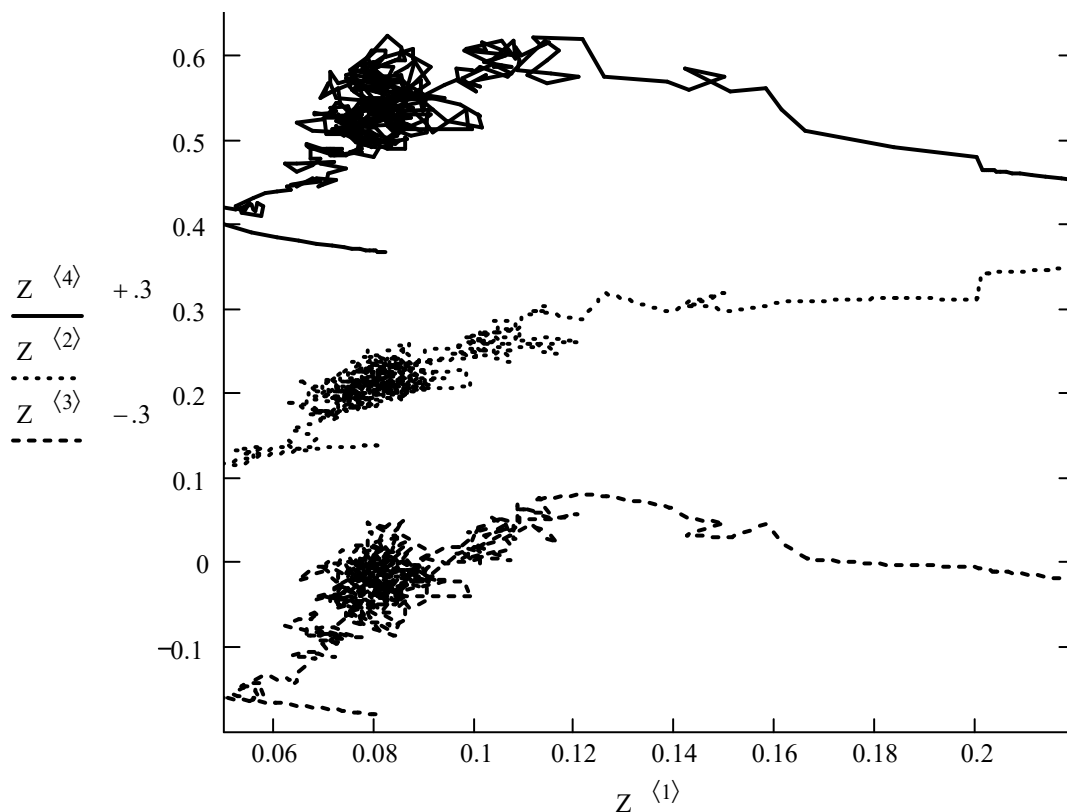


Рисунок 7 – Відносна динаміка траєкторій у фазовому просторі з урахуванням випадкової компоненти інтенсивності надходження запитів і інтенсивності обслуговування запитів

Figure 7 – The relative dynamics of trajectories in the phase space, taking into account the random component of the requests intensity and the service requests intensity

Аналіз результатів – динаміки розвитку подій по часових графіках розв’язків системи диференціальних рівнянь - показує, що у випадку, коли інтенсивність надходження запитів утримує випадкову компоненту значень (після зіткнення автомобілів), система поводить себе адекватно, тобто на інтервалі часу  $30 < t < 60$  дослідження система переходить до не стійкого режиму функціонування і знаходиться в ньому до кінця часового інтервалу - до ліквідації наслідків надзвичайного стану і відновлення руху автомобілів на дорозі. Динаміка відносних траєкторій у фазовому просторі (рис. 6.7) вказує на складність організації управління рухом потоку автомобілів.

### Висновки

1. На підставі застосованого системного підходу розроблена математична модель системи масового обслуговування з відмовами, що дозволяє враховувати випадкову компоненту у складі потоку інтенсивності надходження запитів на обслуговування і інтенсивності обслуговування.
2. Розроблена методика дослідження математичної моделі СМО з урахуванням випадкових компонент в процесах функціонування таких СМО.
3. Математична модель і методика її дослідження можуть бути використані для моделювання випадкових марківських процесів і динаміки функціонування інших класів СМО.

**Перелік посилань**

1. WHO World Road Accidents Statistics Data. Geneva. WHO, 2015. 445 p. (Engl.)
2. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. – М.: Транспорт. –1991. – 183 с.
3. Gusev O.V. Improving the road transport safety. Visnyk NTU. 2004. No. 9. P. 98 – 103. (Engl.)
4. Klebelsberg D. Verkehrspsychologie. –N.Y.: Springer–Verlag, 2002. – 523 p.
5. Gusev A.V. The development of prediction models. /Highways and highway construction, #7, Kiev, NTU, 2004. – P. 77–79.
6. Гусев А.В. Повышение безопасности движения автомобильного транспорта с учетом эффективности зрительных действий водителя./ А.В. Гусев // Автореф. дис. канд.техн.наук. – К.: УТУ, 1995. – 21 с.
7. Гусев О.В. Забезпечення зберігання та безпеки вантажів на транспорті: [учбовий посібник] / О.В. Гусев. – К.: НТУ, 2005. – 156 с.

**MATHEMATICAL MODEL OF ROAD TRAFFIC ACCIDENT DEVELOPMENT USING THE SYSTEM ANALYSIS THEORY**

**Gusev Alexander V.**, Ph.D., associate professor National Transport University, associate professor department of airports, e-mail: avg\_ntu@yandex.ua, tel.: +380442808402, Omelyanovich Pavlenko St. 1, Kiev, Ukraine 01010. <https://orcid.org/0000-0002-0420-0443>

**Rutkovskaya Innesa A.**, Ph.D., professor National Transport University, professor department of airports, e-mail: ria@yandex.ua, tel.: +380442808402, Omelyanovich Pavlenko St. 1, Kiev, Ukraine 01010. <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

**Gerasimenko Alla V.**, senior lecturer National Transport University, senior lecturer department of airports, e-mail: [a\\_gerasimenko@yandex.ua](mailto:a_gerasimenko@yandex.ua), tel.: +380442807073, Omelyanovich Pavlenko St. 1, Kiev, Ukraine 01010., rm.440. <https://orcid.org/0000-0001-7038-3703>

**Abstract.** The article describes the principles and algorithms for creating a mathematical model of the road traffic accidents on the highway section using system analysis theory and queuing system theory.

**Keywords:** system analysis, mathematical model of road accidents, queuing system.

**References**

1. WHO World Road Accidents Statistics Data. Geneva. WHO, 2015. 445 p. (Engl.)
2. Konoplianko V.Y. Orhanyzatsyia y bezopasnost dorozhnoho dvyzhenyia. – М.: Transport. –1991. – 183 s. (Rus)
3. Gusev O.V. Improving the road transport safety. Visnyk NTU. 2004. No. 9. P. 98 – 103. (Engl.)
4. Klebelsberg D. Verkehrspsychologie. –N.Y.: Springer–Verlag, 2002. – 523 p.
5. Gusev A.V. The development of prediction models. /Highways and highway construction, #7, Kiev, NTU, 2004. – P. 77–79 (Rus)
6. Husev A.V. Povushenye bezopasnosti dvyzhenyia avtomobylnoho transporta s uchetom efektyvnosti zrytelnykh deistvyi vodytelia./ A.V. Husev // Avtoref. dys. kand.tekhn.nauk. – К.: UTU, 1995. – 21 s (Rus).
7. Husiev O.V. Zabezpechennia zberihannia ta bezpeky vantazhiv na transporti: [uchbovyi posibnyk] / O.V. Husev. – К.: NTU, 2005. – 156 s. (Ukr).

SYSTEM APPROACH TO AERODROME'S TO PROVISION  
TO SAFETY FLIGHT

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АЕРОДРОМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ



**Popelysh Ivan I.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Airports Department, e-mail: [i\\_i\\_p@ukr.net](mailto:i_i_p@ukr.net) + 38044280-70-73, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344,  
<https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>



**Kaskiv Volodymyr I.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: [vi\\_kas@ukr.net](mailto:vi_kas@ukr.net), tel. +380504458544, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138,  
<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Summary.** System approach is considered in article to aerodrome's provide to safety flight. The designed theorist-plural models given process, allowing develop the methods of the analysis and syntheses of the undertaking the study, methods of their execution and use in theories and practice analysis of the systems operation aerodrome's services civil airport. Example of real exhibit developing models is shown for on-embroidering to safety flight.

The proposed set-theoretical models of the aerodrome flight safety system make it possible to develop a methodology for analyzing and synthesizing research, methods for their implementation, and to apply the theory and practice of the systemology of functioning of aerodrome services of civil airports.

The real application of one of the constituents of the developed models to the use of anti-icing chemicals showed that their effectiveness depends not only on the melting properties, but also on the correct and economical use.

**Keywords:** safety flight, system approach, management without-danger flight, aerodrome, chemical reagent.

**Introduction.** Civil aviation at the present stage of development is a complex dynamic system whose main task is to ensure the safety of flights (BP) of aircraft. In general, such a system consists of the following subsystems: "crew — aircraft — air traffic control — flight safety". Each of the subsystems is a corresponding complex system, the components of which can be considered as independent systems and, if necessary, subject them to analysis and synthesis in order to study the quality indicators for improving the organization of safety management.

**Main part.** One of the components of the "safety assurance" subsystem is aerodrome safety assurance, which includes a set of measures to maintain the aerodrome (runway, taxiway, peron, aircraft parking areas) in their continuous operational readiness and represents a system naturally united into a single whole in accordance with certain principles and related to each other by given relationships.

Aerodrome flight safety is entrusted to the aerodrome service, as the regularity and safe execution of aircraft landing operations depend to a large extent on the preparation of the airfield for flight.

The solution to the problem of increasing airfield safety at the system level lies in the plane of both formal and informal (qualitative) mathematical methods; the division of large uncertainty (aerodrome flight safety) into simpler components, which are better amenable to research (which corresponds to the notion of analysis), while maintaining a holistic (systemic) understanding of the object of study; development of methods of analysis and synthesis, determining the sequence of stages of the study and methods for their implementation; the need for collective decision-making (by bringing together specialists from different fields of knowledge).

Formally, **the aerodrome service** is an organization in the form of an airport structural unit responsible for the aerodrome safety of flights. The set-theoretic model M1 of the aerodrome service (AU) is described by the following expression:

$$M1: ORAS [SP Ap (BP)] \times TV \rightarrow AU [AO (BP)] \times TV, \quad (1)$$

where M1 – the model of the aerodrome service in the form of its mapping in the airport structure, the mapping concepts are the sets of this structure;

ORAS – organization (aerodrome service) responsible for BP [1];

SP Ap – the structural unit (SP) of the airport (Ap) (responsible for the provision of airfield BP);

BP – flight safety;

TV – current time;

AU – aerodrome service;

AO (BP) – aerodrome flight safety assurance.

**Organization of aerodrome safety assurance ORAO (BP)** is a system consisting of elements of tangible and intangible origin interconnected by procedural relations in order to ensure the readiness of the aerodrome for safe take-off, landing, taxiing and parking of aircraft. The set-theoretic model M2 of this system is described by the following expression:

$$M2: SiAO (BP) (EM \times ENM \times Pr \times SC) \times TV \rightarrow Or AS [SP Ap (BP)] \times TV \quad (2)$$

where M2 – AO (BP) organization model in the form of a display, the concepts of which are sets;

SiAO (BP) – system (airfield support for BP);

EM – elements of material origin;

ENM – elements of intangible origin;

Pr – BP processes;

SC – system goal,  $SC \equiv BP$ , ensuring the readiness of the aerodrome for safe operation as intended.

**The system of aerodrome safety assurance of flight of SiAO (BP)** is a combination of planned and preventive methods and processes technologically combined with the elements that make up the system in order to prepare the aerodrome for its intended use.

The set-theoretic model M3 of this system is described by the following expression:

$$M3: Me (PP) \times Pr (Te) \times Ob \times Sb \times Cp \times HC \times Re \times Ri (NGo) \times IP \times TV \rightarrow SiAO (BP) [AO (BP)] \times TV, \quad (3)$$

where M3 – model of the system of SiAO (BP) in the form of a mapping, the concepts of which are sets;

Me (PP) – techniques:

- Me1 (III) technique of mechanical cleaning of the surface of airfield coatings from pollutants, snow, ice;

- Method Me2 (III) of thermal cleaning of the surface of the surface of airfield coatings from snow and ice formation;

- Me3 (PP) technique for the use of anti-icing chemicals;

- Me4 (PP) methodology for assessing the technical condition of airfield coatings;

- Me5 (PP) methodology to ensure the readiness of the airfield for take-off and landing operations according to its technical condition;

- Me6 (PP) technique for repairing airfield coatings.

PP – preventative (methods);

Pr (Te) – a technological process (preparation of an airfield for flights);

Ob – object (airfield);

Sb – subject (performers);

Cp – external environment (environment, financial, technical, etc.);

HC – control action (command to complete the preparation of the airfield for flights);

Re – material and technical and financial resources (what and how much must be spent to prepare the airfield for flights);

Ri (NGo) – the risk of the airport being unprepared for take-off, landing, taxiing and aircraft parking;

IP – procedures for the information support system (information about the weather, finances, equipment, executors, the state of the airfield, etc.).

**The technological process of aerodrome safety assurance** – sequentially parallel technological actions to maintain aerodrome coatings and the responsibility of the aerodrome service in the necessary and sufficient situation (condition) for the safe take-off, landing, taxiing and parking of aircraft.

The set-theoretic model M4 of a technological process in which concepts are sets is described by the following expression:

$$M4: De (Te) \times Tr1 (AS) \times Tr2 (AS) \times Tr3 (AS) \times Ca (BP) \times TV \rightarrow Pr (Te) \times TV, \quad 4)$$

where M4 – model of the technological process;

De (Te) – technological activities (to ensure BP);

Tr1 (AS) – territory of responsibility of the aerodrome service of the first stage (IWPP, MRD, KRM, GRM, platform, lighting equipment)

Tr2 (AS) – the territory of responsibility of the aerodrome service of the 2nd stage (GVPP, MS, connecting taxiways, station square);

Tr3 (AS) – territory of responsibility of the aerodrome service of the 3rd stage (CPB, BPB, intra-airport access roads, including to radio communication facilities, fuel and lubricants);

Ca (BP) – a situation ensuring flight safety.

**The situation of the aerodrome flight safety process** is a set of states (consequences) of the elements of the aerodrome flight support system and the environment that are changed by the events (cause) at the same time.

The set-theoretic model M5 of a situation in which concepts are sets is described by the following expression:

$$M5: Xia (EM, T1) \times Xia (ENM, T1) \times Xia (Cf, T1) \times St (T1) \times T1 \times TV \rightarrow Ca (BP) \times T1 \times TV, \quad (5)$$

where M5 – a model of the situation in the form of a display in which concepts are sets;

Xia (EM, T1) – the state of elements of material origin at time T1;

Xia (ENM, T1) – the state of elements of intangible origin at time T1;

Xia (Cf, T1) – the state of the external environment, most often weather conditions, at time T1;

St (T1) – an event that occurred as part of the aerodrome service and / or the influence of the environment at time T1.

**Actions to maintain aerodrome coatings** and territories of responsibility of the aerodrome service - the activities of subjects of the aerodrome service to achieve a number of events (reason) that bring the aero-

drome coatings, territories of responsibility of the aerodrome service and the environment to the state (consequence) of readiness / unavailability of the aerodrome for operation as intended in any season of the year and at any time of the day.

The set-theoretic model of the M6 action is as follows:

$$M6: Dia (AS, Sb) \times St (T2, T3) \times Xia [Tr1 (AC)] \times Xia [Tr2 (AC)] \times Xia [Tr3 (AC)] \times Xia (Wed, T2, T3) \times Xia (Go, Ngo, Ae, EN) \times T2 \times T3 \times TV \rightarrow De (Te) \times T2 \times T3 \times TV, (6)$$

where Dia (AS, Sb) - activity of subjects of the airdrome service;

St (T2, T3) – an event that occurred as part of the aerodrome service and / or the influence of the environment at time T2 and T3;

T2 – time point of any season of the year;

T3 – any time of day;

Go / Ngo – readiness / unreadiness;

Ae – airfield;

EN – intended use.

**An event (cause)** of aerodrome flight safety is a phenomenon in time and space, as a result of the beginning and / or end of a sequence of interdependent technological operations, the influence of logical and semantic decisions on controlled influences on subjects and objects of the aerodrome service, the implementation of procedures for information support and implementation work on material and resource and financial support for the functioning of the aerodrome service.

The set-theoretic model M7 of this event has the following form:

$$M7: TO (Te, T4, T5) \times HC (Sb, Ob, T6) \times IP (T7) \times Re (T8) \times TV \rightarrow St (Ti) \times TV, (7)$$

where TO (Te, T4, T5) – technological operations with the beginning at time T4 and the end at T5;

T6 – time of receipt of control actions;

T7 – finishing time of the procedure for the information support system;

T8 – the time of receipt of material and technical and financial resources intended for the aerodrome service.

By definition [2], the sequence of technological operations performed by subjects of the aerodrome service at the facilities is nothing more than sequentially parallel processes. Therefore, TO (Te, T4, T5)  $\equiv$  Pr (Te), and Ti are time points on the axis of the real time scale, then M7 (model (7)) will take the following form:

$$M7: Pr (Te) \times Ob \times Sb \times HC \times IP \times Re \times TV \rightarrow St (Ti) \times TV. (8)$$

**The state (consequence)** of aerodrome flight safety is a sequence of events that are determined by preventive methods, unplanned events determined by changes in the environment, taking into account the risk that the airfield is not ready to perform its functions within a certain time interval on the real-time axis.

The set-theoretical model M8 of this state has the following form:

$$M8: Me (PP) \times St (Ti) \times Cp \times Ri (NG) \times TV \rightarrow Xia (Ti) \times TV, (9)$$

where the concept of St (Ti) is subject to decomposition according to the model (8). Then, taking into account minor permutations of the concepts of the M8 model, we have:

$$M9: Me (PP) \times Pr (Te) \times Ob \times Sat \times Cp \times UV \times Re \times Ri (NGo) \times IP \times TV \rightarrow Xia (Ti) \times TV. (10)$$

Comparing model (3) and model (9) we see their full adequacy, that is:

$$M_{10}: M_9 \equiv M_3 \leftrightarrow X_{ia} (Ti) \times TV \equiv Si [AO (BP)] \times TV. \quad (11)$$

**Conclusion.** The set-theoretic model of the aerodrome flight safety system (3) is identical to the state model of aerodrome flight support (9) and can be applied equally to the theory and practice of the systemology of functioning of the aerodrome services of civil airports.

As an example of a real application of the above models, we consider the concept of Me (PP) – methods, models (3) and one of its components – Me<sub>3</sub> (PP) – a technique for using anti-icing chemicals [3]. In turn, this methodology depends on many factors (prevention or removal of ice or snow from the airfield cover, type of airfield cover, thickness of ice or snow on the cover, temperature, humidity, environmental wind force, application of a liquid or granular chemical reagent to the coating, type of chemical reagent and its operational efficiency, the availability of appropriate modern technical means and trained personnel, the applied system for preventing the formation of ice, snow, etc.) and it can be considered as a system for the use of airfield anti-icing chemicals, which is organically included in the aerodrome flight safety system. The figures below show the consumption of different types of airfield chemical reagents in g/m<sup>2</sup> and the cost of their use in UAH/m<sup>2</sup>, for the prevention and removal of ice 1 mm thick from the airfield coating at different temperatures (from 0 °C to – 12 °C) for single and multiple application. It can be seen from the graphs that with a single application of the reagent to the coating, the consumption in g/m<sup>2</sup> decreases towards formates, but the price in UAH/m<sup>2</sup> increases, which is explained by the high cost (UAH / kg) of chemicals of the formate group. A somewhat different situation is observed with repeated application of reagents to the coating. The general pattern of cost reduction in g / m<sup>2</sup> is observed but only in a more pronounced form, but at the same time the cost of using reagents of the acetate-formate group in UAH/m<sup>2</sup> is sharply reduced. The cost reduction is explained by a sharp decrease in the number of applications on the coating (at times) and the duration of the reagent on the coating, depending on weather conditions, from 3 to 5 days [4].

#### Conclusions:

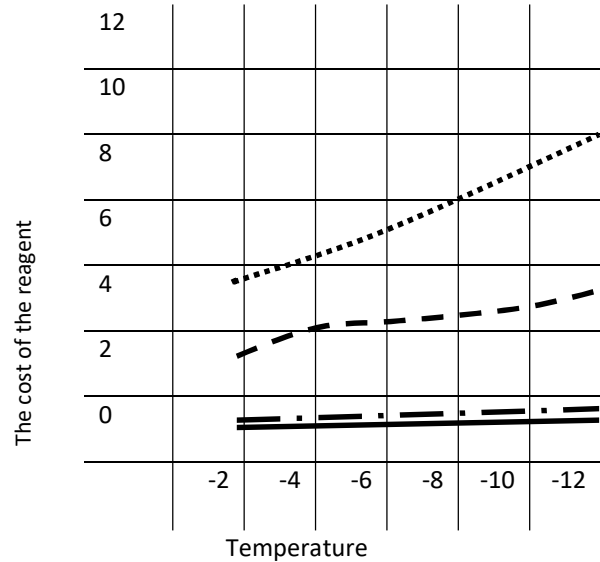
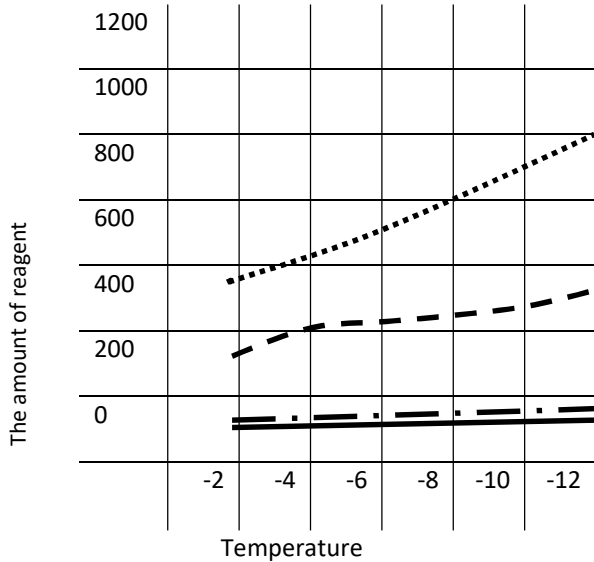
1. The task of increasing the aerodrome safety of takeoff and landing operations is one of the most difficult components in the overall flight safety system, the solution of which lies in the plane of both formal and informal approaches in this direction.
2. The analysis of the safety task based on the developed set-theoretic models allows us to conduct this study on simpler components, while maintaining a holistic (systemic) understanding of the object of study.
3. The proposed set-theoretical models of the aerodrome flight safety system make it possible to develop a methodology for the analysis and synthesis of research, methods for their implementation, and to apply the theory and practice of the systemology of the functioning of aerodrome services of civil airports.
4. The actual application of one of the components of the developed models to the use of anti-icing chemicals showed that their effectiveness depends not only on the melting properties, but also on the correct and economical use.

#### References

1. Shishkov A.F., Zaporozhec V.V., Bilyakovich A.N. Aeroport: Teoriya i praktika zimmego sodержaniya aerodromov. K. : Dnipro, 2006. 196 s.
2. Frejdina E.V. Issledovanie sistem upravleniya: ucheb. posobie / pod red. Yu.V. Guseva // Vysshaya shkola menedzhmenta. M. : Izd. «Omega – L», 2008. 367 s.
3. Belinskij I.A., Zakrevskij A.I., Shinkarchuk N.V. Tehnicheskaya ekspluatatsiya aerodromov. K. : KMUGA, 1996. 240 s.
4. Orlov V.A. Teoriya i praktika borby s gololedom. M. : Vozdushnyj transport, 2010. 112 s.
5. Anfilatov V.S. Sistemey analiz v upravlenii. M.: Finansy i statistika., 2002.- 368 s.
6. Antonov A.V. Sistemnyy analiz. M.: Vyssh.shk. 2004. – 454 s.

7. Novosl'tsev V.I. Tereticheskiye osnovy sistemnogo analiza. M.: Mayor. 2006.- 592 s.
8. Myl'nik V.V. Issledovaniye sistem upravleniya. M.: Delovaya knika. – 2003.-353 s.
9. Gorev A.Ye. Osnovy teorii transportnykh sistem. SPb. 2-10.: - 214 s.

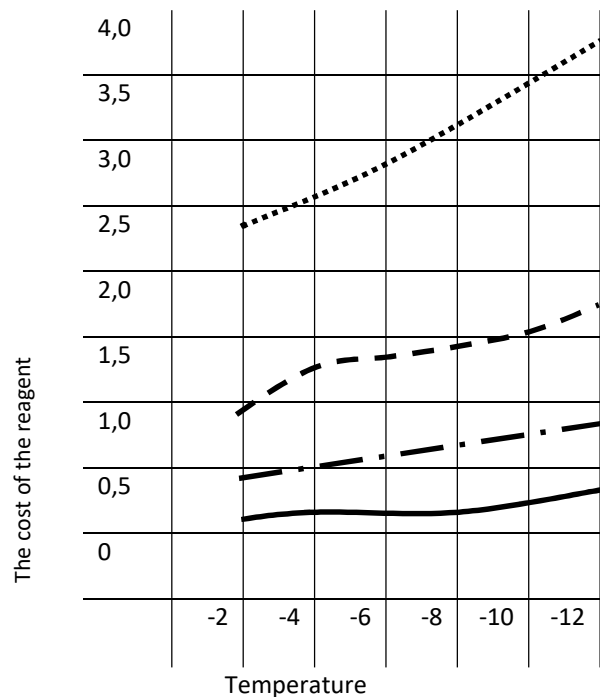
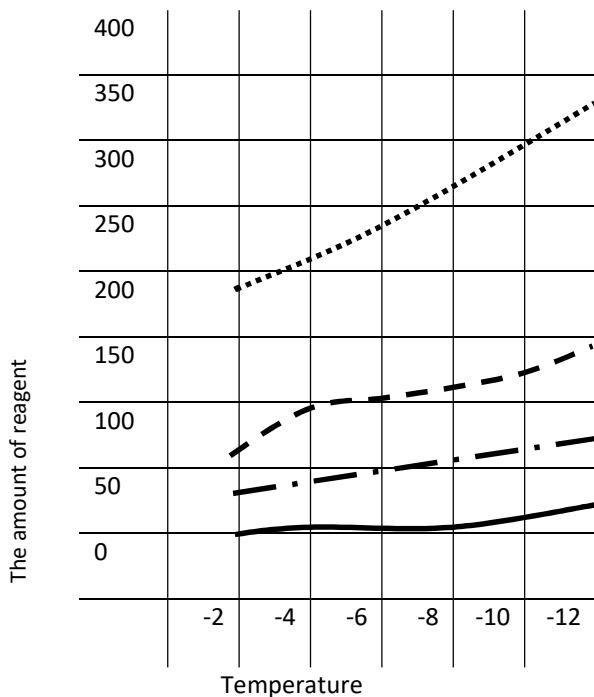
Fig. 1 a



..... ANS v    - - - ANS p    - - - ANS v    - - - ANS p

..... ANS v    - - - ANS p    - - - ANS v    - - - ANS p

Fig. 1 b



..... NKMM v    - - - NKMM p    - - - NKMM v    - - - NKMM p

..... NKMM v    - - - NKMM p    - - - NKMM v    - - - NKMM p

Fig. 1 c

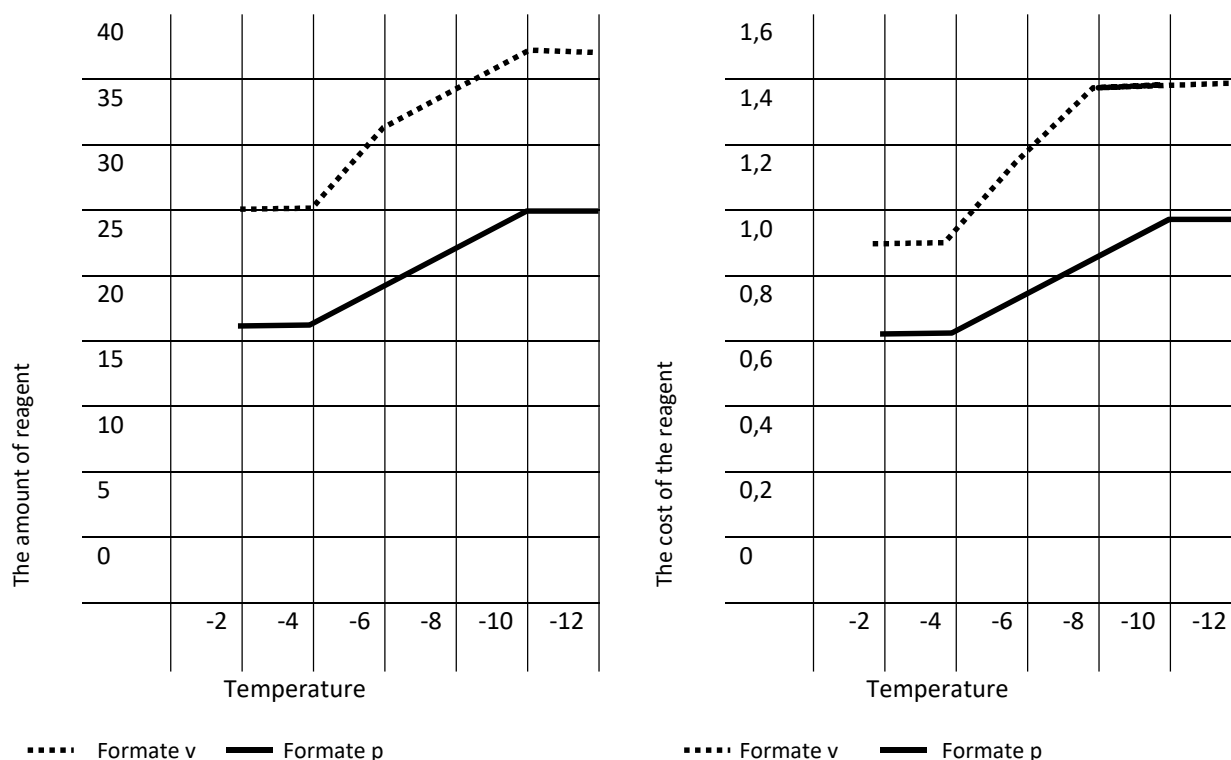


Figure 1 a, b, c – Consumption  $g/m^2$  and the cost of UAH/ $m^2$  of reagents of the urea-nitrate group (1 a, b – ANS, NKMM) and formate group (potassium formate – 1 c) to remove and prevent ice formation on the runway during disposable (lower part of the drawings) and reusable (upper part of the drawings) their application

Рисунок 1 а,б,в – Витрати реагентів  $г/м^2$  і вартість грн/ $м^2$  карбамидно-нітратної групи (1 а,б – АНС, НКММ) та формиатної групи (формиат калія -1 в) для видалення та попередження льодо-снігоутворення на ЗПС при одноразовому (нижня частина рисунків) і багаторазовому (верхня частина рисунків) їх застосуванні

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АЕРОДРОМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

**Попелиш Іван Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри аеропортів, e-mail: [i\\_i\\_p@ukr.net](mailto:i_i_p@ukr.net), тел. + 38044280-70-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344. <https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>

**Каськів Володимир Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном e-mail: [vi\\_kas@ukr.net](mailto:vi_kas@ukr.net), тел. +380504458544, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138. <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Анотація.** Цивільна авіація на сучасному етапі розвитку являє собою складну динамічну систему, головним завданням якої є забезпечення безпеки польотів (БП) повітряних суден. У загальному вигляді така система складається з наступних підсистем: «екіпаж – повітряне судно – управління повітряним рухом – убезпечення польотів». Кожна з підсистем може представляти із себе відповідну складну систему, складові частини якої можна розглядати як самостійні системи і при необхідності

піддавати їх аналізу і синтезу з метою вивчення індикаторів якості по поліпшенню організації управління безпекою польотів. Однією зі складової підсистеми «убезпечення польотів» є аеродромне забезпечення польотів, яке включає комплекс заходів щодо підтримання аеродрому (ЗПС, РД, перонів та місць стоянок повітряних суден) у їх постійній експлуатаційній готовності і представляє систему, частини якої можна розглядати як її складові, закономірно об'єднані в єдине ціле відповідно до певних принципів і пов'язаних між собою заданими відносинами.

Аеродромне забезпечення польотів покладене на аеродромну службу, так як регулярність і безпека злітно-посадкових операцій повітряних суден у значній мірі залежить від підготовки льотного поля до польотів.

Рішення задачі підвищення аеродромного забезпечення польотів на системному рівні лежить у площині як формальних, так і неформальних (якісних) математичних методів, розчленування великої невизначеності (аеродромна безпека польотів) на більш прості складові, які краще піддаються дослідженню (що і відповідає поняттю аналіз), при збереженні цілісного (системного) підходу до об'єкту дослідження; розробки методики аналізу і синтезу, що обумовлює послідовність етапів проведення дослідження і методи їх виконання; необхідності колективного ухвалення рішення (об'єднанням фахівців різних галузей знань).

У статті розглянутий системний підхід до аеродромного забезпечення польотів. Розроблені теоретико-множинні моделі даного процесу, які дозволяють розробляти методику аналізу і синтезу проведення дослідження, методи їх виконання і застосовувати в теорії і практиці системології функціонування аеродромних служб цивільних аеропортів. Наведений приклад реального застосування розроблених моделей для підвищення безпеки польотів.

Запропоновані теоретико-множинні моделі системи аеродромного забезпечення безпеки польотів дозволяють розробляти методику аналізу та синтезу проведення дослідження, методи їх виконання, і застосовувати в теорії і практиці системології функціонування аеродромних служб цивільних аеропортів. Реальне впровадження однієї із складових розроблених моделей до застосування протиожеледних хімічних реагентів показало, що їх ефективність залежить не тільки від плавильних властивостей, але і від правильного й економного застосування.

**Ключові слова:** безпека польотів, системний підхід, управління безпекою польотів, аеродром, хімреагенти.

### Перелік посилань

1. Шишков А.Ф., Запорожец В.В., Билякович А.Н. Аэропорт: Теория и практика зимнего содержания аэродромов. К. : Дніпро, 2006. 196 с.
2. Фрейдина Е.В. Исследование систем управления: учеб. пособие / под ред. Ю.В. Гусева // Высшая школа менеджмента. М. : Изд. «Омега – Л», 2008. 367 с.
3. Белинский И.А., Закревский А.И., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов. К. : КМУГА, 1996. 240 с.
4. Орлов В.А. Теория и практика борьбы с гололедом. М. : Воздушный транспорт, 2010. 112 с.
5. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика., 2002.- 368 с.
6. Антонов А.В. Системный анализ. М.: Высш.шк. 2004. – 454 с.
7. Новосельцев В.И. Теретические основы системного анализа. М.: Майор. 2006.- 592 с.
8. Мыльник В.В. Исследование систем управления. М.: Деловая книжка. – 2003.-353 с.
9. Горев А.Е. Основы теории транспортных систем. СПб. 2-10.: - 214 с.

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ ТОВАРУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН**

**DEVELOPMENT OF MEASURES FOR OPTIMIZATION OF THE PRODUCT SUPPLY CHAIN BY USING MODERN BLOCKCHANE TECHNOLOGY**



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

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



*Федоренко Ірина Олександрівна, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, асистент кафедри «Транспортних технологій», e-mail: levytska12332@gmail.com,*

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

**Анотація.** Стаття спрямована на розробку заходів оптимізації ланцюга постачання продукції за допомогою сучасних технологій блокчейн. Важливою складовою роботи є також забезпечення безпеки ланцюга постачання та, зокрема, забезпечення безпеки та зберігання товарів (вантажів).

Проаналізовано світову статистику по обігу контрафакту, що становить 3,3 % у рік, що еквівалентно 500 млрд. долл. США (2017 рік), що є дуже актуальним для України.

Розглянуто технологію та алгоритми щодо оптимізації ланцюга постачання шляхом аналізу даних від кожної Точки, і виявлення проблемних процесів та пунктів.

Запропоновано використання технології смарт контракту в системі блокчейн, для забезпечення безпеки товару (вантажу), для відслідковування походження товару, маршруту, етапів перевезення та його оригінальності, шляхом створення записів у кожному пункті перебування товару (вантажу).

**Ключові слова:** ланцюг постачання, технологія блокчейну, смарт-контракт, безпека, зберігання та захист товару.

**Постановка проблеми.** Сьогодні дуже актуальними є наукові дослідження спрямовані на проектування, створення, удосконалення та оптимізацію ланцюгів постачання (зокрема їх транспортної складової) та забезпечення їх безпеки [1]. На сучасному етапі забезпеченню безпеки функціонування ланцюгів постачання перешкоджає проблема фальсифікації товарів, заміна товару на підробку саме під час транспортування та видання підробки за оригінал. За таких умов, неможливо відстежити походження товару (вантажу) та його справжність. Спочатку замовник, а потім і кінцевий споживач не можуть бути впевненими у тому, що отриманий (придбаний) товар є оригіналом, з відповідними економічними, фінансовими та репутаційними наслідками.

Інформація про ланцюг постачання товару від заводу-виробника до кінцевого споживача є недоступною в повному об'ємі, що унеможливує оптимізацію процесу доставки. Саме тому існує необхідність створення системи відстежування товару на всіх етапах логістичного ланцюга від виробництва

до кінцевого споживача, з метою підтвердження безпеки та оригінальності товару і оптимізації ланцюга постачань.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз статистичних даних свідчить, що в світі щороку відбувається виготовлення та продаж контрафактної продукції, щороку ця цифра лише зростає. З доповіді Організації економічного співробітництва та розвитку слідує, що оборот контрафактної продукції в світі досягає 500 млрд. доларів, що становить близько 3,3% світового імпорту. У Європейському союзі такої показник досяг 134 млрд. доларів, що становить близько 6% імпорту. Для порівняння, за даними попередньої доповіді ОЕСР, опублікованого в 2016 році, частка контрафактної продукції в світі становила 461 млрд. доларів або 2,5% світового імпорту, а в Європейському союзі 116 млрд. доларів або 5% імпорту (рис. 1, 2.).

Лідерами по виробництву товарів з порушеннями прав на об'єкти інтелектуальної власності є Китай і Гонконг - понад 60%, Туреччина - понад 3,5% і Сінгапур - понад 2%. Найчастіше підробляють одяг і вироби зі шкіри, взуття, електричні прилади та обладнання, годинники, парфумерія та косметика, іграшки.

Відзначається, що 24% вилучення контрафактної продукції здійснено з порушенням прав на об'єкти інтелектуальної власності правовласників з США, 16,6% - з Франції, 15,1% - з Італії, 11,2% - зі Швейцарії, 9,3% - з Німеччини, близько 6% - з Японії та близько 1,3% - з Китаю. [2]

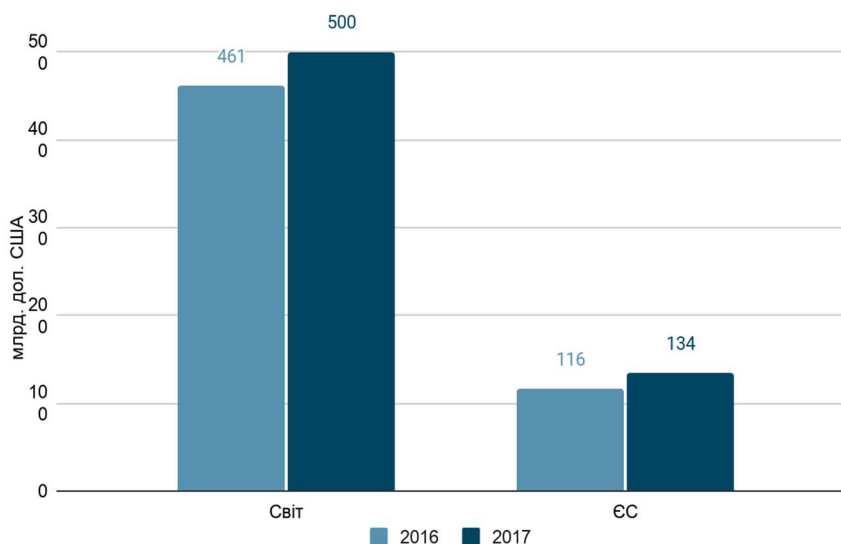


Рисунок 1 - Оборот контрафактної продукції в світі та Європейському союзі, млрд. дол. США  
Figure 1 – Turnover of counterfeit products in the world and the European Union, billion. USD

Як видно з графіків, кожна двадцята одиниця товару, що купують в ЄС є контрафактною, загальні збитки компаній-виробників товарів становлять 500 млрд. доларів США в рік, через наявність на ринку не оригінальних продуктів.

Блокчейн - побудована за певними правилами безперервна послідовна ланцюжок блоків (зв'язний список), що містять інформацію. Зв'язок між блоками забезпечується не тільки нумерацією, а й тим, що кожен блок містить свою власну хеш-суму і хеш-суму попереднього блоку. Зміна будь-якої інформації в блоці змінить його хеш-суму. Щоб відповідати правилам побудови ланцюжка, зміни хеш-суми потрібно буде записати в наступний блок, що викличе зміни вже його власної хеш-суми. При цьому попередні блоки не будуть зачіпатися. Якщо змінюваний блок останній в ланцюжку, то внесення

змін може не вимагати істотних зусиль. Але якщо після змінюваного блоку вже сформовано продовження, то можливо, не вдасться вкрай трудомістким процесом. Справа в тому, що зазвичай копії ланцюжків блоків зберігаються на безлічі різних комп'ютерів незалежно один від одного [3,4,5].

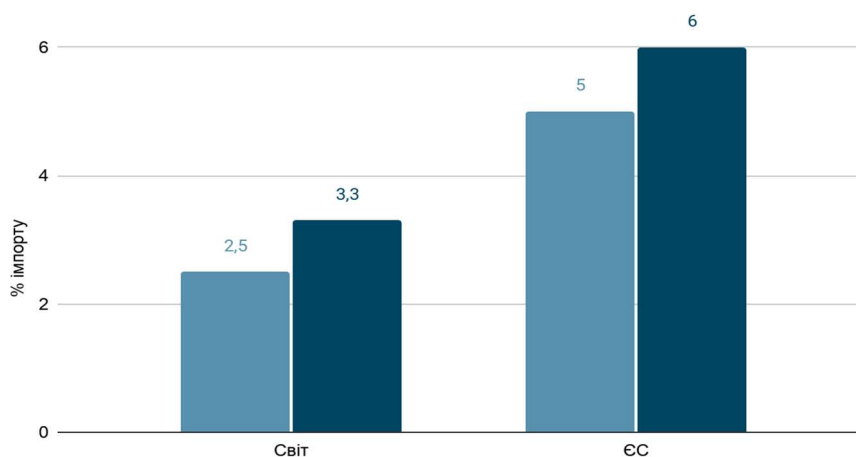


Рисунок 2 - Оборот контрафактної продукції в світі та Європейському союзі, % імпорту  
Figure 2 – Turnover of counterfeit products in the world and the European Union, % of imported goods

Використовуючи прозорі дані, блокчейн дає змогу створювати нові промислові процеси, що забезпечує надзвичайно швидку реалізацію транзакцій завдяки можливостям розумних контрактів.

Було проведено дослідження, в якому Eucoslear визначила основні переваги блокчейну. [6] Серед них:

- надійність методів шифрування;
- конфіденційність даних;
- в будь-який момент часу база даних забезпечує надійність роботи без центрального органу;
- синхронізація даних між учасниками процесу;
- на противагу традиційному контракту, розумний контракт є алгоритмом, що програмується в залежності від умов, що несе в свою чергу виконання закладених інструкцій для роботи над різними процесами. Через це можна без проблем та витрат часу вдосконалити різні операції з цінними паперами, векселями і тд.;
- більш повні набори даних;
- розподілена база даних дозволяє відійти від звичних традиційних централізованих систем, які використовуються в наш час для відстеження та ведення записів по різних інвестиціях і угодах;
- швидше здійснення транзакцій. У всіх буде єдиний доступ до даних, що в свою чергу призведе до більш швидкого розповсюдження інформації на ринку;
- контрагенти почнуть більше довіряти один одному, отримавши доступ прозорий доступ до даних, не потрібно буде додатково узгоджувати і звіряти дані про угоди; відкритість даних також, дозволить учасникам підтверджувати свою надійність, збільшувати рівень довіри та цим самим зменшувати ризики фінансових зобов'язань.

Смарт-контракт (англ. Smart contract - розумний контракт) - комп'ютерний алгоритм, призначений для формування, контролю і надання інформації про володіння чим-небудь. Найчастіше мова йде про застосування технології блокчейну. У більш вузькому сенсі під смарт-контрактом розуміється набір функцій і даних (поточний стан), що знаходяться за певною адресою в блокчейні [7].

Оригінальність товару  $n$  може бути підтверджена шляхом підтвердження факту виробництва товару  $n$  з власним ідентифікаційним номером на виробництві та відстежування повного ланцюга постачань

цього товару  $n$  від заводу виробника до кінцевого споживача. Для вирішення цієї задачі було використано смарт контракти для записів даних в блокчейн. Схема реалізації найпростішого смарт контракту представлена на рис. 3.

Пояснення до схеми. Для розуміння роботи цього смарт контракту необхідно визначити наступні поняття:

Organisation - компанія-виробник товарів, завод, фабрика. Виступає власником смарт контракту.

Point - manufacture - Точка-виробник, перша структура, що заносить дані в блокчейн про виробництво товарів з зазначенням їх ідентифікаційного номера.

Point-transportation - Точка-перевізник, структура, що заносить дані в блокчейн про отримання партії товарів з певними ідентифікаційними номерами. Варто зазначити, що Point-transportation може складатись з багатьох точок в ланцюгу поставки від виробництва до кінцевого реалізатора. Наприклад: склад, митниця, аеропорт, порт, вокзал, термінал та інші.

Point- retail - Точка - продавець, структура, що заносить дані в блокчейн про продаж товару.

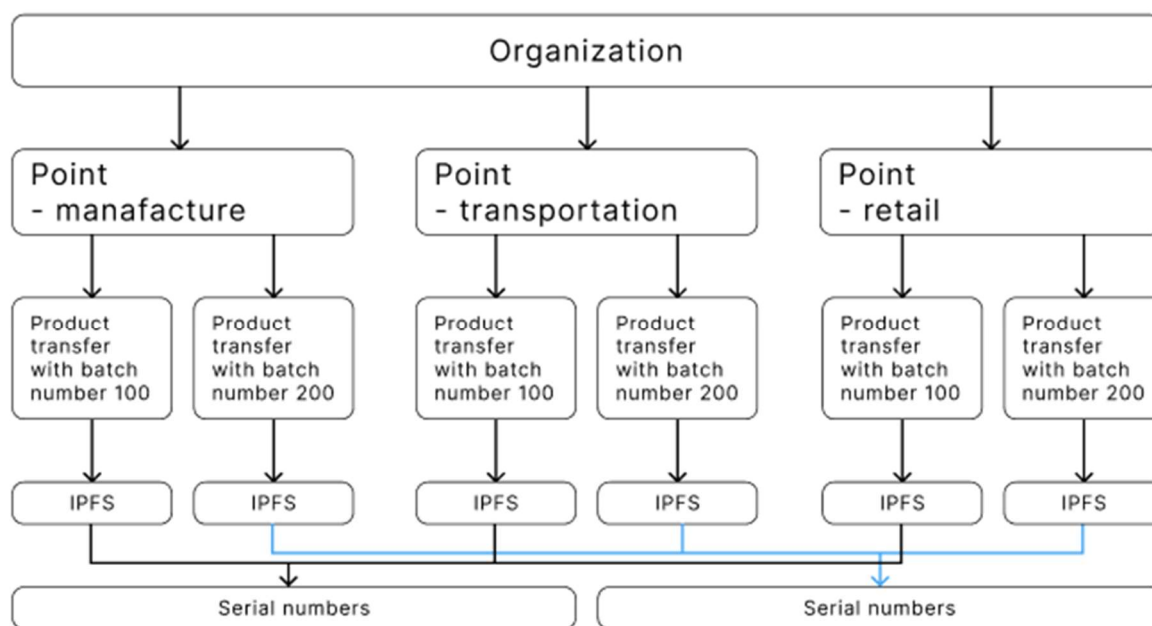


Рисунок 3 – Елементарна схема реалізації смарт контракту для відстежування походження товару  
 Figure 3 – General scheme of smart contract implementation for tracking the origin of goods

Для кожної організації-виробника продукції створюється окремий смарт контракт. Виробник, як власник смарт контракту, створює Точки (Point) для кожного учасника процесу доставки від виробництва до продажу. Приклади схем Точок представлені на рисунку 4.

Кожна Точка містить інформацію (цю інформацію задає компанія виробник товарів), що є незмінною:

- Назва,
- Місце розташування,
- Ідентифікаційний номер

Для коректного функціонування системи кожна Точка вносить дані в блокчейн про прибуття партій товару, а саме:

- дата прибуття товару,
- номер партії,
- посилання на ідентифікаційні номери кожної одиниці товару. Цей номер є унікальними і присвоюються на виробництві. Ідентифікаційні номери можуть зберігатись в IPFS –протокол та система

розповсюдження даних за змістом, яка побудована на концепції ідентифікування даних за хешом, тобто за ІД, який розраховується й відповідно залежить, від їхнього внутрішнього значення [8], є децентралізованою системою. Також інформацію можна зберігати на будь-якому іншому сховищі, централізованому або децентралізованому, хмарному або стаціонарному.

- Point Id - ідентифікаційний номер Точки.



Рисунок 4 – Приклади схем взаємодії Точок у ланцюгу постачань  
Figure 4 – Examples of schemes of interaction of Points in a supply chain

Таким чином формується історія переміщення товару, тобто з'являється можливість відстежування походження товару, і відстежування взаємодії між учасниками процесу доставки.

Застосування блокчейну для ланцюгів постачань дозволяє вирішити ряд проблем:

- Надати впевненість кінцевому клієнту у покупці оригінального товару,
- Виробник може бути впевнений, що клієнт придбає оригінальний товар,
- Надійність системи, шляхом залучення децентралізованої системи блокчейн.
- Можливість відслідкувати ланцюг постачання для кінцевого споживача та виробника.

Оптимізація процесу доставки може бути досягнута шляхом аналізу отриманих даних, через застосування смарт контрактів таким чином: виробник може бачити дані про операції прибуття в Точку, час прибуття та кількість партій/товарів. При аналізі цих даних можливо виявити затримки, збої, втрату товару, швидкість доставки між Точками, відповідальність кожної Точки. Система, що пропонується є простою в інтеграції для кожної компанії, і не потребує значних додаткових витрат.

**Висновок.** Проаналізовано світову статистику по обігу контрафакту, що становить 3,3 % у рік, що еквівалентно 500 млрд. долл. США (2017 рік), що є дуже актуальним для України.

Розглянуто технологію та алгоритми щодо оптимізації ланцюга постачань шляхом аналізу даних від кожної Точки, і виявлення проблемних процесів та пунктів.

Запропоновано використання технології смарт контракту в системі блокчейн, для забезпечення безпеки товару (вантажу), для відслідковування походження товару, маршруту, етапів перевезення та його оригінальності, шляхом створення записів у кожному пункті перебування товару.

#### Перелік посилань

1. Гусев О.В. Забезпечення безпеки та зберігання вантажів на транспорті [учбовий посібник]. К.: НТУ, 2003. - 250
2. <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/finpol/dobd/intelsobs/Documents/%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%9F%D0%9F%D0%9F%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf>
3. Luke Fortney. Blockchain Explained (англ.). Investopedia. Дата обращения: 22 ноября 2019.

4. Blockchain technology – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>.
5. Blockchain technology – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>.
6. Introduction to Smart Contracts <https://docs.soliditylang.org/en/latest/introduction-to-smart-contracts.html>
7. Leverington A. Ethereum [Текст] / A. Leverington. – Portland: Rick Publishing, 2016. – 63 с.
8. Introduction to Blockchain, Ethereum and Smart Contracts — Chapter 1 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/coinmonks/https-medium-com-ritesh-modi-solidity-chapter1-63dfaff08a11/>.

### DEVELOPMENT OF MEASURES FOR OPTIMIZATION OF THE PRODUCT SUPPLY CHAIN BY USING MODERN BLOCKCHANE TECHNOLOGY

**Gusiev O.V.**, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0420-0443>

**Fedorenko I.O.**, Assistant Lecturer, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5673>

**Abstract.** The article is aimed at the development of measures for optimization of the product supply chain by using modern blockchane technology. The world statistics on counterfeit turnover, which is 3.3% per year, which is equivalent to \$ 500 billion (2017), which is very relevant for Ukraine, is analyzed.

The technology and algorithms for supply chain optimization is achieved by analyzing data from each point and identifying problem processes and Points are considered.

The use of smart contract technology in the blockchain system is proposed to ensure the safety and security of the goods (cargo), to track the origin of the goods, route, stages of transportation and its originality, by creating records at each point of stay of the goods.

**Keywords:** supply chain, blockchane technology, smart contract, safety and security of the goods

### References

1. Gusiev O.V. Ensuring the safety and protection of goods in transport [uchbovy posibnyk study book]. К.: NTU, 2003. – 250 p.
2. <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/finpol/dobd/intelsobs/Documents/%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%9F%D0%9F%D0%9F%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf>
3. Luke Fortney. Blockchain Explained . Investopedia. Reference date: 22 nov. 2019.
4. Blockchain technology – [electronic resorces]. – <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>.
5. Blockchain technology – [electronic resources]. – Access mode: <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>.
6. Introduction to Smart Contracts <https://docs.soliditylang.org/en/latest/introduction-to-smart-contracts.html>
7. Leverington A. Ethereum [Text] / A. Leverington. – Portland: Rick Publishing, 2016. – 63 с.
8. Introduction to Blockchain, Ethereum and Smart Contracts — Chapter 1 – [ electronic resources]. – Access mode: <https://medium.com/coinmonks/https-medium-com-ritesh-modi-solidity-chapter1-63dfaff08a11/>.

**PLANNING OF CARGO AND PASSENGERS' TRANSPORTATION CONSIDERING WEATHER CONDITIONS**

**ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ТА ПАСАЖИРІВ З УРАХУВАННЯМ ПОГОДНИХ УМОВ**



*Dodukh Kateryna Myhaylivna, CTS, Docent at the Department of Road Design, Geodesy and Land Management. National Transport University e-mail: ekaterinadodukh@gmail.com; тел.: (096)129-39-38*

<https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>



*Palchyk Anton Dmytrovych, postgraduate student of department of tourism, National Transport University e-mail: palchyk94@gmail.com; тел.: (063)121-14-51*

<https://orcid.org/0000-0002-1467-3658>

**Summary.** The work is devoted to the solution of the issue of economic and safe transportation of goods and passengers by road. This transportation depends on the condition of roads, road surface, vehicle type and weather conditions. Weather conditions are taken into account both in terms of visibility (meteorological) and in terms of the coefficient of adhesion.

The general criterion for assessing all conditions is the average speed of the vehicle, taking into account weather and road conditions. Weather conditions are determined by the type of visibility: clear weather, rain, snowfall, blizzards, rain. By the coefficient of adhesion: dry surface, normal, wet, snow, ice. By road conditions: category of road, width of the travel section, radii of horizontal curves, longitudinal slopes, width of the road, the state of surface (coefficient of solidity). According to weather conditions, the calendar year is divided into three periods according to the conditions of cars' movement.

The first (winter) - December, January, February, March; second (spring-summer) - April, May, July, June, August; third (autumn) - September, October, November. The use of weather conditions in the Northern regions of Ukraine is presented in this work.

**Keywords:** road, weather, speed, visibility, coefficient of adhesion.

**Introduction.** Transportation of goods and passengers is of great importance for the economy of the country. The main indicators are the cost of transportation and socio-economic indicators of passenger traffic. Planning of transportation depends on many indicators that characterize not only road conditions, but also weather conditions. For transportation of goods and passengers, road conditions must meet the requirements of transport. These conditions vary depending on the category of roads - the higher the category of road the better the conditions for transport. Weather conditions reduce the speed of road transport and can increase travel time. Taking into account weather conditions will allow planning of cargo and passengers transportation under favorable weather conditions and minimum cost.

**Purpose and methods**

The task of the road is to provide an economical, safe transportation of goods and passengers by road. The main indicator is the speed of vehicles, which depends on:

- geometric elements of the road;
- type of car and its traction-speed characteristics;
- type of cover and its condition;
- weather conditions.

The geometric elements of the highway determine the speed of free movement of the car in different road conditions. Changing road conditions causes a change in vehicle speed. Surface of the road and its condition is very important. The presence of pits, tracks, bumps and small coefficient of adhesion (normal from 0,35 to 0,7), cause a significant decrease in the speed of the car. Weather conditions are characterized both by the distance of visibility and the state of road surface. In addition, each category of the road corresponds to its maximum load on the car axle (from 6t to 11.5t). Visibility (this is the distance visibility of the road surface by the driver) affects the speed of the car. It varies from 15 to 150m or more. According to the distance of visibility, the speed of the car changes.

**Results and explanation**

The cost of transportation of goods and passengers depends on many factors, one of which is the cost of fuel, which is up to 52% of the cost. The fuel consumption is directly proportional to the speed of the car. Minimum fuel consumption corresponds to the optimum speed of the car. Reducing or increasing the speed of the car leads to increased fuel consumption and cost of transportation. On the other hand, transportation of goods and passengers may be determined by the time spent on transportation.

Weather conditions are determined by:

- clear weather;
- rain;
- storm;
- snowfall;
- blizzard

Condition of coverage is determined by the coefficient of adhesion, which characterizes the grip of the car wheels with the coating and its condition:

- dry;
- humid;
- wet;
- snowy
- icy

Table 1 – Meteorological visibility

Таблиця 1 – Метеорологічна видимість

Weather conditions	Visibility distance, m
Fog	100
Rain	150
Snow	100
Storm	15
Blizzard	16

The average speed of cars depending on visibility is calculated by the formula:

$$V = V_0 + 0.13S , \tag{1}$$

where  $V$  – average speed of the car, km/hour;

$V_o = 29,1$  km/hour.

So, with visibility 100 m :

$V = 29,1 + 0,13 * 100 = 42,1$  km/hour

And with visibility 16 m:

$V = 29,1 + 0,13 * 16 = 31,1$  km/hour

Depending on the coating, it is characterized by the coefficient of adhesion:

Table 2 – Coefficient of adhesion according to the coating condition

Таблиця 2 – Коефіцієнт зчеплення у відповідності до стану покриття

Weather conditions	Factor of adhesion
Dry, clear	0,5-0,7
Normal	0,4-0,5
Wet	0,2-0,3
Snow	0,2
Ice	0,1

The influence of weather conditions and the coefficient of adhesion is characterized by distance and dynamic dimensions (distance - distance between cars, dynamic size - distance plus length of the car).

The distance and dynamic size are calculated according to the formula of Neizvestnoy N.V. and Krasilnikovoy O.V.

$$D = \frac{1,6e^{-0,8\varphi} V (l_a + 1) (0,0003V^2 - 0,015V + 0,61)}{3,6}, \quad (2)$$

where  $V$  – speed of the car, km / h;

$l_a$  – length of the car, m;

$\varphi$  – coefficient of adhesion.

The combined effect of the visibility distance and the coefficient of adhesion is determined (Zhuk M.M., Kovalyshyn V.A. Determination of safe speed of vehicles in difficult conditions, taking into account the functional state of the driver) by the formula:

$$V_{\text{без.}} = \sqrt{\frac{127(\varphi^2 - I_n^2)}{K_v \varphi}} (S - L_o), \quad (3)$$

where  $\varphi$  – coefficient of adhesion;

$S$  – meteorological visibility, m;

$L_o$  – security clearance, m;

$I_n$  – cross slope;

$K_v$  – braking efficiency factor.

This dependence is shown in the figure 1.

Change of visibility (in the drawing from the top to bottom) 150 m, 100 m, 50 m, 40 m, 20 m.

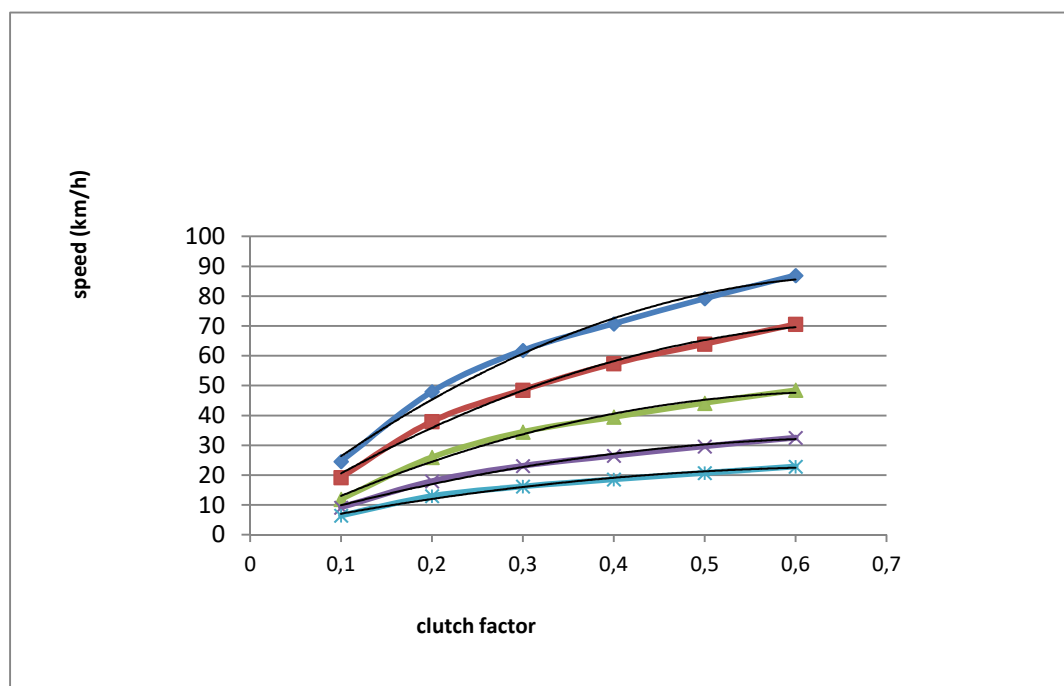


Figure 1 – Change of the visibility of the road surface depending on the coefficient of adhesion and speed of the car.

Рисунок 1 – Зміна видимості поверхні дороги в залежності від коефіцієнта зчеплення та швидкості автомобіля

According to this graph, it is possible to determine the speed of the car depending on the visibility and the coefficient of adhesion according to the condition of coating of the road.

Weather conditions are taken into account both from the distance of visibility and from the state of surface.

As of the driving conditions on motor roads it is possible to distinct three periods under conditions of movement:

- winter - (December, January, February, March);
- spring-summer (April, May, June, July, August);
- autumn (September, October, November).

Each of these periods is characterized by natural conditions. Winter - snowstorms, blizzards), spring and summer - rain, storms), autumn (rain, storms, snow).

According to weather conditions, the state of surface and visibility range change, and as a result, the speed of the car and fuel consumption changes.

These conditions lead to unsatisfactory conditions of travel and transportation of goods and passengers. The example of the Kyiv region shows the distribution of unsatisfactory travel conditions for certain periods.

Table 3 – Percentage of unsatisfactory weather conditions on highways in the Northern regions of Ukraine during the winter period

Таблиця 3 – Відсоток незадовільних погодних умов на автомобільних дорогах у Північних районах України у зимовий період

Year	Winter period			
	snow	rain	storm	blizzard
2013	60/49%		2/1,6%	2/1,6%
2014	22/18.2%		1/0,8%	2/1,6%
2015	28/23%	3/2,5%	5/4,1%	2/1,6%
2016	44/36%		1/0,8%	3/2,5%
2017	33/27%	4/3,3%		3/2,5%
2018	49/40%	7/5,7%		3/2,5%
Total	236	14	9	15
Average value	32,3%	1,9%	1,2%	2,1%

Table 4 – Percentage of unsatisfactory weather conditions on highways in the Northern regions of Ukraine in the spring-summer period

Таблиця 4 – Відсоток незадовільних погодних умов на автомобільних дорогах у Північних районах України у весняно-літній період

Year	Spring-summer period			
	snow	rain	storm	blizzard
2013		24/15.6%	1/0,6%	
2014		23/15%	10/6,5%	
2015		34/22.2%	3/1,9%	
2016		42/27.4%	1/0,6%	
2017		38/24.8%	9/5,9%	
2018		8/7.8%		
Total		169	24	
Average value		18,4%	2,6%	

### Conclusions and recommendations.

1. Unfavorable weather conditions appear:

- winter period-37,5%,
- spring-summer period -21%,
- autumn period-10.9%.

2. During the winter, the blizzards and storms make up 3.3%. In a blizzard, delays can last up to 3 days.

3. The most favorable conditions are during the spring-summer period where the rain is 2.6% and the delay can be up to 2-3 hours.

4. When performing transportation in unfavorable conditions it is necessary to take into account the decrease of the speed of motor transport and increase the socio-economic rate of passenger transportation. The calculation is carried out using Figure 1 and tables 1,2,3,4,5.

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

Table 5 – Percentage of unsatisfactory weather conditions on highways in the Northern regions of Ukraine in the autumn period

Таблиця 5 – Відсоток незадовільних погодних умов на автомобільних дорогах у Північних районах України у осінній період

Year	Autumn period			
	snow	rain	storm	blizzard
2013		12/13%		
2014		2/2.1%	4/4,4%	
2015		5/5.5%	2/2,2%	
2016	9/9.9%	2/2.1%	2/2,2%	
2017	1/1%	8/8.8%	1/1,1%	
2018	4/4.4%	6/6.6%		2/2,2%
Total	14	35	9	2/2,2%
Average value	2,5%	6,4%	1,6%	0,37%

### References

1. WWW.LP5.UA/ Arkhivpohody v aeroportuBoryspil 2013-1018.
2. Palchyk A.M. Transportnipotoky. K. NTU. 2010 – s. 171.
3. Dodukh K.M. Vyznachenniaserednoishvydkostivilnohorukhnutransportnohopotoku. K: NTU, 2013, № 69 s.188.
4. Sylianov V.V. Sytnykov Yu. M. Raschetskorostydvizheniya pry proektyrovanyyavtomobylnykhdoroh. TrudyMoskovskohoavtomobylno- dorozhnohoynstytuta. – 1974. – Vyp.72 - s.47-66.
5. Metodykakompleksnoioitsinkybudivnytstva ta rekonstruktsiiavtomobilnykhdoroh z urakhuvanniamsotsialno-ekonomichnoi ta ekolohichnoiefektyvnosti. M 218-02070915-630:2007-K.,2007.,-28s.
6. Sylianov V.V., DomkeЭ.R. Transportno-eksploatatsyonnyekachestvaavtomobylnykhdoroh y horodskykhulyts: [ucheb. posobye] / V.V. Sylianov, Э.R. Domke. – M.: Akademyia, 2008. – 349 s.
7. NeizvestnaN.V., KrasylnykovaO.V. Rozrakhunokpropusknoizdatnostikiltsevykhrozviazok. « Avtomobilnidorohy i dorozhniebudivnytstvo: Naukovo-tekhnichnyizbirnyk. – 2012. – Vyp. 86 – S. 3-7.»
8. Fylypov V.V. SmyrnovaN.V. LeontevD.N. O zavysymostyrashkhdatoptyva y vlyianyenanehoskorostydvizheniyaavtomobilia y dorozhnikhruslovyi. VesnykKhNADUVыпуск 67. 2014.-s 7-12.

### ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ТА ПАСАЖИРІВ З УРАХУВАННЯМ ПОГОДНИХ УМОВ

**Додух Катерина Михайлівна**, к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, Національний транспортний університет. <https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>

**Пальчик Антон Дмитрович**, аспірант кафедри туризму, Національний транспортний університет. <https://orcid.org/0000-0002-1467-3658>

**Анотація.** Робота присвячена вирішенню питання економічного та безпечного перевезення вантажів та пасажирів автомобільним транспортом. Це перевезення залежить від стану автомобільних доріг, дорожнього покриття, типу автомобіля та погодних умов. Погодні умови враховуються як по видимості (метеорологічній) так і по показнику коефіцієнта зчеплення.

Загальним критерієм оцінки всіх умов є показник середньої швидкості руху автомобіля з урахуванням погодних і дорожніх умов. По типу видимості погодні умови визначаються: ясна погода, дощ, снігопад, хуртовина, злива. По коефіцієнту зчеплення: сухе покриття, нормальне, мокре, сніг, ожеледиця. По дорожнім умовам: категорія дороги, ширина проїзної частини, радіуси горизонтальних кривих, позовжні похили, ширина узбіччя стан покриття (коефіцієнт міцності). По погодним умовам календарний рік ділиться на три періоди по умовам руху автомобілів:

Перший (зимовий) – грудень, січень, лютий, березень; другий (весняно-літній) – квітень, травень, липень, червень, серпень; третій (осінній) - вересень, жовтень, листопад. В роботі приведено використання погодних умов у Північних районах України.

**Ключові слова:** дорога, погода, швидкість руху, видимість, коефіцієнт зчеплення.

### Перелік посилань

1. WWW.LP5.UA/Архів погоди в аеропорту Бориспіль 2013-1018 рік.
2. Пальчик А.М. Транспортні потоки. К. НТУ. 2010. С. 171.
3. Додух К.М. Визначення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку. К: НТУ, 2013, №69. С.188.
4. Сильянов В.В. Ситников Ю. М. Расчет скорости движения при проектировании автомобильных дорог. Труды Московского автомобильно- дорожного института. 1974. Вып.72. С.47-66.
5. Методика комплексної оцінки будівництва та реконструкції автомобільних доріг з урахуванням соціально-економічної та екологічної ефективності. М 218-02070915-630:2007. К., 2007. 28 с.
6. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: [учеб. пособие] / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. М.: Академия, 2008. 349 с.
7. Неізнана Н.В., Красильникова О.В. Розрахунок пропускної здатності кільцевих розв'язок. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. 2012. Вип. 86. С. 3-7.
8. Филипов В.В. Смирнова Н.В. Леонтьев Д.Н. О зависимости расхода топлива и влияние на него скорости движения автомобиля и дорожных условий. Вестник ХНАДУ Выпуск 67. 2014. С 7-12.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕРМІНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТНОЇ  
СИСТЕМОЛОГІЇ (Частина 5)

PROPOSALS FOR IMPROVING OF TRANSPORT SYSTEMOLOGICAL  
TERMINOLOGY (Part 5)



**Петрашевський Олег Львович**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, професор, e-mail: [olp47@ukr.net](mailto:olp47@ukr.net), +380996092476,

<https://orcid.org/0000-0001-7909-6057>



**Попелиш Іван Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, доцент, e-mail: [i\\_i\\_p@ukr.net](mailto:i_i_p@ukr.net), тел.: +380668827221;

<https://orcid.org/0000-0003-3358-6565>



**Алексєєнко Олександр Валерійович**, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, старший викладач, e-mail: [alexaliexsieienko@gmail.com](mailto:alexaliexsieienko@gmail.com), +380636039903,

<https://orcid.org/0000-0002-3796-9929>



**Корітчук Сергій Олександрович**, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, асистент, e-mail: [k.s2501@ukr.net](mailto:k.s2501@ukr.net), тел.: +380938133430;

<https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>



**Артемчук Юлія Володимирівна**, Національний транспортний університет, кафедра транспортних систем та безпеки дорожнього руху, асистент, e-mail: [art\\_julia@i.ua](mailto:art_julia@i.ua), тел.: +380636047172;

<https://orcid.org/0000-0002-3872-7745>

**Анотація.** Матеріал цієї частини загального методологічного розділу по створенню сучасної термінологічної системи доставки вантажів (ДВ) базується на термінах і визначеннях наведених в попередніх частинах глобальної статі присвячених пропозиціям по удосконаленню термінології транспортної системології [1-4]. Особливо це стосується такого важливого роду діяльності як інформаційне забезпечення (ІЗ).

**Ключові слова.** декларативно-графічний опис, теоретико-множинна модель, проектна модель, ризик виконання доставки вантажу, сценарій доставки вантажу, інформаційне забезпечення.

**Постановка проблеми.** До конкретизації понять і критеріїв якості і кількості інформації і в цілому інформаційного забезпечення наведемо поняття, які полегшать пізнання критеріїв і процесів. Це вербальна Verb K, декларативна Decl K, лексикологічна Lex K опису категорій ДВ, лінгвістична Lin P, семантична Sem P, синтаксична Sint P і логічна Log P моделі процесів доставки вантажів (ПДВ), прагматичний опис Prag P області предметної діяльності (ОПД) по доставці вантажів. В якості категорій ДВ виступають описи (характеристики) одиничних елементів ДВ, наприклад: об'єкт, суб'єкт, подія, стан, ситуація і інш. В якості процесів ДВ, наприклад: ситуаційний, системний, рефлексний і інші (див. табл. 1). Кожне з цих понять грає свою ефективну роль в процесі пізнання ДВ, як процесу максимально наближеного до практики доставки вантажів. Ці визначення будуть завершеними поняттями репрезентативності інформаційного забезпечення, яке поєднує критерії ефективності інформаційних елементів і ІЗ в цілому, з однієї сторони і, з другої сторони, потоків інформаційних елементів, підсистем, які взаємодіють, в єдину систему доставки вантажів, як і розуміють їх деякі теоретики і більшість практиків, які працюють в сфері ДВ, в системі логістичних задач транспортування вантажів шляхом залучення рухомих транспортних засобів.

**Основний матеріал.** Дамо ці прийоми (методи, методики) опису категорій і процесів стосовно до рівня епістемології (пізнання) процесів ДВ, як таких.

**Визначення 72.** Вербальний опис категорій Verb K – усвідомлений словесний опис частини предметної області ДВ, яка складається з опису конкретної поставленої проблеми, яка включає цілі рішення поставленої задачі, основні питання, на які слід отримати відповіді, обмежень і можливих припущень в задачі, а також вихідної інформації, яка є в розпорядженні дослідника системи.

**Визначення 73.** Декларативний опис категорій ДВ Decl K – усвідомлений опис категорій предметної області ДВ, що містить основні принципи і загальні положення діяльності в розглядаємії предметній області відносин, без обґрунтування і опису способів їх реалізації.

**Визначення 74.** Лексикологічний опис категорій ДВ Lex K – усвідомлений опис предметної області по ДВ, що використовує запас слів і виразів, в тому числі і сленгу (жаргону), яке відображає встановлене причинно-наслідкове сприйняття ОПД по доставці вантажу в плані здійснення комунікативних відносин між «спеціалістом – спеціалістом» і «спеціаліст – ЕОМ».

Треба відмітити, що Verb K, Decl K і Lex K описи мають в більшій мірі, словесний опис категорій ДВ, в тому числі транспортування вантажів за допомогою пересувних транспортних комплексів (ПТК). Основа для цього декларативно-графічного опису ДВ, тільки ДГО методології концептуально-логічного відображення і проектного моделювання є більш загальним словесно-графічною складовою процесу ДВ реалізованим виходячи з життєвої практики, досвіду і здорового сенсу посадової особи ПДВ керуючись науковим апаратом і особистою інтуїцією спеціаліста (ів) – предметника (ів). При необхідності, до ДГО залучаються спеціалісти – проектувальники, які вирішують цю задачу, з точки зору, раціоналізації сучасних транспортно-технологічних, насамперед технічних умов, но з обліком соціально-економічних вимог. Перейдемо до більш формальним моделям процесу доставки вантажів.

**Визначення 75.** Лінгвістична модель ДВ Lin P – представляє собою регулярне, однозначне і послідовне відношення даних по питанню доставки вантажу, в основному, які базуються на інформації, яка розміщена в заявці на ДВ і даних пересувного транспортного комплексу призначеного згідно з складеним сценарієм до доставки вантажу.

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

Лінгвістична модель визначає кількісні і якісні складові ПДВ користуючись раціональністю, доцільністю і ефективністю діяльного аспекту ПТК призначеного до ДВ. Основою для лінгвістичної моделі служить теоретико-множинні моделі ПДВ. В рамках Lin-моделей конкретизуюча транспортна діяльність колективу і парку ПТК всього транспортного підприємства, націленого на виконання цієї концепти (аргументу) моделей виступають вже не одиничними категоріями, які визначають ДВ, а множинами, які націлені на рішення різних транспортних задач, згідно заявок на доставку вантажу, який поступає на спеціалізоване автотранспортне підприємство.

Таблиця. 1. Відповідність словесного/формального опису моделі і опису моделі методології концептуально-логічного відображення і проектного моделювання (КЛО і ПМ)

Table. 1. Correspondence of the verbal / formal description of the model and the description of the model of the methodology of conceptual-logical mapping and project modeling (KLO and PM)

№ з/п	Опис/ /модель	Категорія ДВ/ /вид процесу	Вид опису/вид моделі	Позначення опису/ /моделі	З яким описом/моделлю методології КЛО і ПМ працює?	Тип керування
1	Опис	Категорія ДВ – К	Вербальне	Verb К	Декларативно-графічний опис (ДГО)	Причинно-наслідкове керування (ПНК), сценарне керування (СцК)
2	Опис	Категорія ДВ – К	Декларативне	Decl К	ДГО	ПНК, СцК
3	Опис	Категорія ДВ – К	Лексикологічне	Lex К	ДГО	ПНК, СцК
4	Модель	Ситуаційний ПДВ – Р	Лінгвістичне	Lin P	Теоретико-множинна модель (ТММ), інфологічна модель (ІЛМ)	Ситуаційне керування (СтК), процесне керування (ПК)
5	Модель	Ситуаційний ПДВ – Р	Семантичне	Sem P	ТММ, ІЛМ	СтК, ПК
6	Модель	Системний ПДВ – Р	Синтаксичне	Sint P	Логіко-семантична модель (ЛСМ), логіко-лінгвістична модель (ЛЛМ)	Системне керування (Сик)
7	Модель	Рефлексний ПДВ – Р	Логічне	Log P	ЛСМ. ЛЛМ	Сик
8	Опис	Рефлексний ПДВ – Р	Прагматичне	Prag P	Виробничо-конструктивний опис (ВКО)	Сик, рефлексивне керування (РК)

**Визначення 76.** Семантична модель ДВ Sem P – закономірний опис предметної області дій по ДВ, що використовує смислову сторону окремих слів і словосполучень, які присутні в лінгвістичній моделі ОПД по доставці вантажу.

Основою для складання моделей Sem P також служать теоретико-множинні моделі процесів ДВ. Треба відмітити, що лінгвістичні, семантичні і наступні моделі (Sint P, Log P) не є обов'язковими для пізнання ДВ. Вони служать для більш повної епістемології ПДВ і всебічно описують ці процеси, але при цьому містять багато елементів, що повторюються, які тавтологічно підтримують друг друга.

Апріорі неможливо усвідомити коли з'являється необхідність в конкретиці кожного виду моделей. Оскільки нашою проблемою є проблема створення пропозицій по удосконаленню термінології транспортної системології, даємо максимально повну картину різноманітності моделей ПДВ і вже не будемо приводити додаткове мотивування їх створення після пояснення, що це за модель, з яким необхідним нахилом вона буде використовуватися в процесі пізнання ДВ за призначенням.

**Визначення 77.** Синтаксична модель ДВ Sint P – представляє собою формально позначені способи з'єднання слів, які відображають ОПД по ДВ, в словосполученнях і пропозиціях, а також прийоми організації смислового дослідження шляхом застосування відношень між словами в текстовому строю.

**Визначення 78.** Логічна модель ДВ Log P – є закономірним описом предметної області дії по ДВ за допомогою числень, символи і правила яких можуть бути інтерпретовані в термінах логіки, а схема зв'язку розмірковувань, яка виражається загально значимими конструкціями логіки (аксіомами або теоремами), приводить від обоснованих суджень – посилок до істинних суджень – дій.

**Визначення 79.** Прагматичний опис ДВ Prag P – представляє собою опис сукупності дій, які відображають ОПД по ДВ, направлених на досягнення реальних результатів по доставці вантажів, без спроб підігнати ці дії під вже існуючі методи і прийоми мультимодальних перевозок вантажів і функціонування інфраструктури транспорту по ДВ.

Прагматичний (грец.: діловий, досвідний, практика [5]) опис всього процесу ДВ вимагає вже однозначної наявності в теорії і практиці повного пізнання ПДВ, так як Prag P включає багато, що входить в складові виробничо-конструктивного опису (ВКО) методології концептуально-логічного відображення і програмного моделювання системи доставки вантажу (див. табл.1).

В роботі [4] розглянуті  $PS_1$  – дії по складанню сценарію і  $PS_2$  – дії по організації ДВ. Менше сказано про інформаційне забезпечення –  $PS_{12}$ . Слід мати в виду, що ці дії не відображають весь процес ДВ, з цього в табл. 2 дано повний перелік дій  $PS_1$  –  $PS_{13}$ , які підлягають формалізації в процесі дослідження системи доставки вантажів. Особливої уваги вимагає до себе 4-а колонка таблиці 2, де приводиться перелік дій, які вимагають спільних моделей. Тобто управління процесами по доставці вантажів здійснюється при наявності необхідної інформації і оцінці ризику при реалізації кожної операції ДВ. До даним діям ще повернемося, а зараз більш детально розглянемо інформаційне забезпечення ПДВ. В минулих розділах неодноразово приділяли увагу інформаційним елементам (ІЕ), на основі аналізу яких виконуються дії  $PS_1$  –  $PS_{11}$ . Дамо визначення інформаційного елемента (ІЕ) [6].

**Визначення 80.** Інформаційним елементом (ІЕ) називається інформація, яка має різну ступінь складності і дискретний характер.

З визначення виходить, що інформаційний елемент не є конкретно інформаційною одиницею. В якості конкретики виступає наступна інформація: реквізит  $i_r \in I_r$ , повідомлення  $i_s \in I_s$ , показник  $i_p \in I_p$  і документ  $i_d \in I_d$ . Вони розташовані по мірі збільшення об'єму і зростанням інформаційної складності ІЕ.

**Визначення 81.** Реквізит  $i_r$  є інформаційний елемент, який є семантично неподільною інформацією.

Наприклад: номер державної реєстрації автомобіля, вид тари, яка призначена для вантажу і т.п.

**Визначення 82.** Повідомлення  $i_s$  є інформаційний елемент, який складається з декількох реквізитів, який дає визначену кількісну і/або якісну характеристику подій або величин, який описує об'єкт або процес доставки вантажу.

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

Таблиця 2. Послідовний перелік дій, які мають місце при доставці вантажу по заявці  
Table 2. Sequential list of actions that take place during the delivery of goods on request

Позначення	Дія	Місце дії, інтервал часу дії	Перелік дій, які вимагають сумісних моделей
PS <sub>1</sub>	Складання сценарію ДВ	Автотранспортна компанія, інтервал часу дії – перед виконанням ДВ	PS <sub>1</sub> & PS <sub>12,1</sub> V PS <sub>13</sub> (1)
PS <sub>2</sub>	Організація ДВ		PS <sub>1</sub> V PS <sub>2</sub> & PS <sub>12,1</sub> V PS <sub>13</sub> (1,2)
PS <sub>3</sub>	Технічна підготовка ДВ		PS <sub>1</sub> V PS <sub>2</sub> V PS <sub>3</sub> & PS <sub>12,1</sub> V PS <sub>13</sub> (1,2,3)
PS <sub>4</sub>	Процес ДВ	Рух по дорогам України і поза її, інтервал часу дії – під час ДВ	PS <sub>4</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4)
PS <sub>5</sub>	Контроль розходу сценарію ДВ і реального процесу ДВ:		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5)
PS <sub>5,1</sub>	по часу;		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5,1</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5.1)
PS <sub>5,2</sub>	просторові розходження		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5,2</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5.2)
PS <sub>6</sub>	Ідентифікація стану:		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5</sub> V PS <sub>6</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5,6)
PS <sub>6,1</sub>	водія (психофізіологічні);		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5</sub> V PS <sub>6,1</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5,6.1)
PS <sub>6,2</sub>	вантажу (збереження);		PS <sub>4</sub> V PS <sub>5</sub> V PS <sub>6,2</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5,6.2)
PS <sub>6,3</sub>	автомобіля (технічного)	PS <sub>4</sub> V PS <sub>5</sub> V PS <sub>6,3</sub> & PS <sub>12,2</sub> V PS <sub>13</sub> (4,5,6.3)	
PS <sub>7</sub>	Процес прийняття рішень по стану:	Необхідність в виконанні дії ППР виникає не тільки при оцінці стану водія (вантажу, авто), а при інших діях PS <sub>i</sub>	PS <sub>7</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>7,1</sub>	водія;		PS <sub>7,1</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>7,2</sub>	вантажу;		PS <sub>7,2</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>7,3</sub>	автомобіля		PS <sub>7,3</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>8</sub>	Контроль за ефективним використанням (для ДВ) комплексу ВВА	При виконанні ДВ	PS <sub>8</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>9</sub>	Планування керуючого впливу по стану:	Автотранспортна компанія, під час виконання ДВ	PS <sub>9</sub> & PS <sub>1</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>9,1</sub>	водія;		PS <sub>9,1</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>9,2</sub>	вантажу;		PS <sub>9,2</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>9,3</sub>	автомобіля		PS <sub>9,3</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>10</sub>	Розподіл ресурсів для КВ:	Автотранспортна компанія з обліком можливостей інших спеціалізованих підприємств, під час виконання ДВ	PS <sub>9</sub> V PS <sub>10</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>10,1</sub>	для водія;		PS <sub>9,1</sub> V PS <sub>10,1</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>10,2</sub>	для вантажу;		PS <sub>9,2</sub> V PS <sub>10,2</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>10,3</sub>	для автомобіля		PS <sub>9,3</sub> V PS <sub>10,3</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>11</sub>	Реалізація керуючого впливу	При виконанні ДВ	PS <sub>9</sub> V PS <sub>10</sub> V PS <sub>11</sub> & PS <sub>12</sub> V PS <sub>13</sub>
PS <sub>12</sub>	Інформаційне забезпечення	При реалізації PS <sub>1</sub> - PS <sub>11</sub>	PS <sub>12</sub>
PS <sub>12,1</sub>	для підготовчого етапу;		PS <sub>12,1</sub>
PS <sub>12,2</sub>	для реалізації ДВ		PS <sub>12,2</sub>
PS <sub>13</sub>	Оцінка ризику виконання ДВ	При реалізації PS <sub>1</sub> - PS <sub>11</sub>	PS <sub>13</sub>

**Визначення 83.** Показник  $i_p$  є інформаційним повідомленням, яке складається з формалізованої сукупності реквізитів.

**Визначення 84.** Документ  $i_d$  є інформаційний показник (повідомлення) сукупність яких є самостійним,  $i$  є значним списком інформаційних матеріалів, які дозволяють зробити визначені висновки і/або дати рекомендації по процесу доставки вантажів.

Оскільки реквізити в одиничному числі не утворюють інформації, яка несе закінчений опис події ДВ або стану комплексу ВВА, то визначення 82–84, відносно виду ІЕ, «повисають в повітрі», якщо не розглянути їх потоки (ПІ) стосовно до дій PSi. Будемо розрізняти вхідні, внутрішні потоки ІЕ. Треба розглядати інформаційні елементи як узагальнення втілення інформації  $i_s, i_p, i_d \in I_e$ . Вхідні і вихідні ПІ, є наслідком виконання ряду дій PSi, і вони поєднують дії між собою перетворюючи їх в етап сегменту або сегмент процесу ДВ [2]. Ці потоки будемо називати рецепторними –  $F_{j,k}^{pц} \in F_1, j = \overline{A, Я}$  (алфавіт),  $k = \overline{1,9}$  (цифра) і ефекторними –  $F_{j,k}^{еф} \in F_2, F_1, F_2 \subset F$ . Потоки  $F_{j,k}^{pц}, F_{j,k}^{еф}$  називають також системними потоками інформації у відмінності від даних, несистемних потоків, які циркулюють всередині дії PSi, вхідних  $f_{j,k}^{вх} \subset f_1$  і вихідних  $f_{j,k}^{вих} \subset f_2$ . Прив'язуючись до  $F_{j,k}^{pц}, f_{j,k}^{вх}, F_{j,k}^{еф}, f_{j,k}^{вих}$  як результату виконання ПІ дій PSi дамо їх формальне визначення.

Таблиця 3 Системні інформаційні процедури і пропозиції відносно зміни ними семантика ІЕ  
Table 3 System information procedures and proposals for changing the semantics of ІЕ

№ п/п	Інформаційна процедура	Позначення	Змінюють семантику ІЕ	№ п/п	Інформаційна процедура	Позначення	Змінюють семантику ІЕ
1	Формування	R <sub>Ф</sub>	Змінює	18	Ведення бази знань	R <sub>БЗ</sub>	Змінює
2	Збору	R <sub>З</sub>	Не змінює	19	Перетворення	R <sub>ПР</sub>	Змінює
3	Проміжне зберігання	R <sub>X1</sub>	Не змінює	20	Стойкість (захищеність)	R <sub>С</sub>	Не змінює
4	Передачі	R <sub>П</sub>	Не змінює	21	Кодування	R <sub>К</sub>	Змінює
5	Формалізації	R <sub>01</sub>	Змінює	22	Декодування	R <sub>Д</sub>	Змінює
6	Вводу інформації	R <sub>В1</sub>	Змінює	23	Оцінка достовірності	R <sub>ОД</sub>	Змінює
7	Формування запиту	R <sub>ФЗ</sub>	Змінює	24	Оцінка повноти	R <sub>ОП</sub>	Змінює
8	Обробка запиту	R <sub>ОЗ</sub>	Не змінює	25	Оцінка однорідності	R <sub>ОО</sub>	Змінює
9	Пошук інформації	R <sub>П</sub>	Змінює	26	Оцінка непереривності	R <sub>ОН</sub>	Змінює
10	Зберігання (другорядного і наступних)	R <sub>X2</sub>	Не змінює	27	Навчання (самонавчання)	R <sub>Н</sub>	Не змінює
11	Видачі	R <sub>В</sub>	Змінює	28	Погодження	R <sub>П</sub>	Не змінює
12	Використання	R <sub>ВИК</sub>	Змінює	29	Затримки	R <sub>ЗАТ</sub>	Не змінює
13	Оцінки (обробки)	R <sub>02</sub>	Змінює	30	Розподілу	R <sub>Р</sub>	Не змінює
14	Аналізу	R <sub>А</sub>	Змінює	31	Взаємодії	R <sub>ВЗ</sub>	Змінює
15	Експертного забезпечення	R <sub>ЕЗ</sub>	Змінює	32	Ідентифікації	R <sub>І</sub>	Змінює
16	Спотворення інформації	R <sub>С1</sub>	Змінює	33	Композиції	R <sub>КМ</sub>	Змінює
17	Ведення бази даних	R <sub>БД</sub>	Не змінює	34	Декомпозиції	R <sub>ДК</sub>	Змінює

**Визначення 85.** Системним потоком інформації (рецепторним, ефекторним) будемо називати послідовність в часі ІЕ цілеспрямоване змінених в просторі існування інформаційних елементів, згідно методах, алгоритмам і логічним правилам, які регламентують конкретний спосіб застосування дій  $SP_m$ ,  $m \neq i$ ,  $m = \overline{1, M}$ .

**Визначення 86.** Поток (несистемним, внутрішнім, зовнішнім) даних будемо називати послідовність в часі і просторі реквізитів змінених згідно з алгоритмами і способами процедур  $R_{jk}$ .

Інформаційні процедури можливо згрупувати по 4-ма фізичними сутнісними напрямками. Це групування представляє собою примірну дію, яка приводить в основному, до зміни семантики інформаційних елементів, які наражаються процедурам ІЗ. В загальному сенсі слова, інформаційні процедури діляться на процедури, які змінюють семантику і які не змінюють семантику ІЕ (див. табл.3)

**Визначення 87.** Інформаційні процедури (ІП) представляють собою реалізацію комплексу правил (методів, алгоритмів, методик), які регламентують один вид зміни / незміни семантики інформаційного елементу ( $i_r, i_s, i_p, i_d$ ) в просторі і часі існування ІЕ.

Інформаційні процедури вводу ІЕ характеризується [7]:

вихідними даних  $i_r, i_s, i_p, i_d \in i_e \subset i$  ( $0 < i_r > d_r$ ),

де  $i_r$  – кількість реквізитів в формі (форматі) ІЕ;

$d_r$  – загальна кількість реквізитів;

$R$  – максимальна кількість реквізитів в формі (форматі) ІЕ.

– кількістю вихідних даних  $i_r$ ;

– часу вводу даних  $t_b$ .

Інформаційні процедури оцінки (обробки) ІЕ визначається:

– вихідними даними  $0 < i_r > d_r$ ;

– кількістю вихідних даних  $i_r$ ;

– даними, які використовуються при оцінці – база знань  $0 < i_r > i_{БЗ}$ ;

– алгоритмами, які використовуються при оцінці  $0 < i_r > i_{АЛ}$ ;

– часом оцінки (обробки)  $t_o$ .

Інформаційна процедура видачі інформації характеризується:

– результатом оцінки (обробки),  $0 < r_d > d_{ДОК}$ ;

– об'ємом результату  $d_{ДОК}$ ;

– часом надання результату  $t_p$ .

Інформаційна процедура спотворення інформації визначається:

– даними спотворення  $0 < i_p > d_{ДОК}$ ;

– спотворення загального об'єму результату  $d_r$ , що приводить до знищення даних і/або добавленню нових;

– зміною часу видачі результату  $t_n = t_b + r_n$ .

На рис. 1 показані об'єкти моніторингу процесу доставки вантажу, який доставляється пересувним транспортним комплексом в складі «водій – вантаж – автомобіль» (ВВА). В ПТК формується і збирається інформація про технічний стан систем і виробів автомобіля, проводиться передача їх на апаратуру зв'язку (АЗ). Апаратура зв'язку працює з супутниковою радіонавігаційною системою (СРНС) GPS/ГЛОНАСС/Galileo або з мобільною системою зв'язку. В цьому випадку інформація про технічний стан автомобіля попадає в інформаційно-аналітичний центр автотранспорту.

Інформаційно-аналітичний центр (ІАЦ) автотранспорту по доменам знань обробляє дані, які поступили з метою здійснити діагностування систем і виробів автомобіля, яка здійснює ДВ, при цьому дані виводяться на засоби відображення інформації. Результати діагностування (в випадку необхідності) повертаються до водія для усунення несправностей силами водія або зміні маршруту авто-

мобіля. Маршрут змінюється так, щоб він максимально близько пройшов біля спеціалізованого підприємства або фірми, яка проводить ТО цього автомобіля. Після проведення ТО (ремонт) автомобіль повертається на маршрут і доставка вантажу продовжується. На рис. 1 представлений також дестабілізуючий фактор зовнішнього середовища автодороги (ЗСАД). На цьому рисунку показані інформаційні процедури і потоки ІЕ, які складають сутність інформаційного забезпечення.

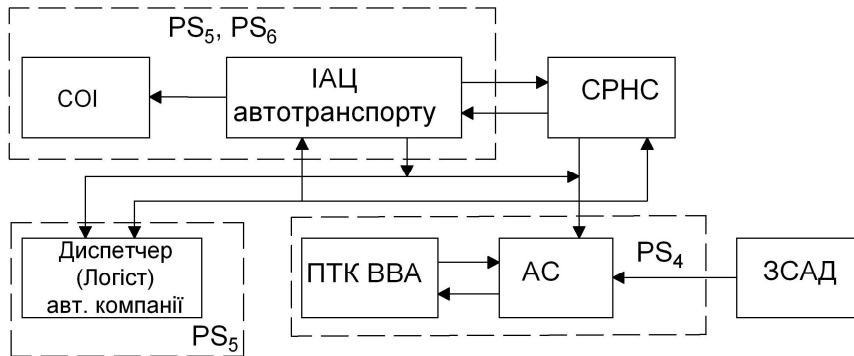


Рисунок 1- Об'єкти моніторингу процесів доставки вантажів  
Figure 1- Objects of monitoring of cargo delivery processes

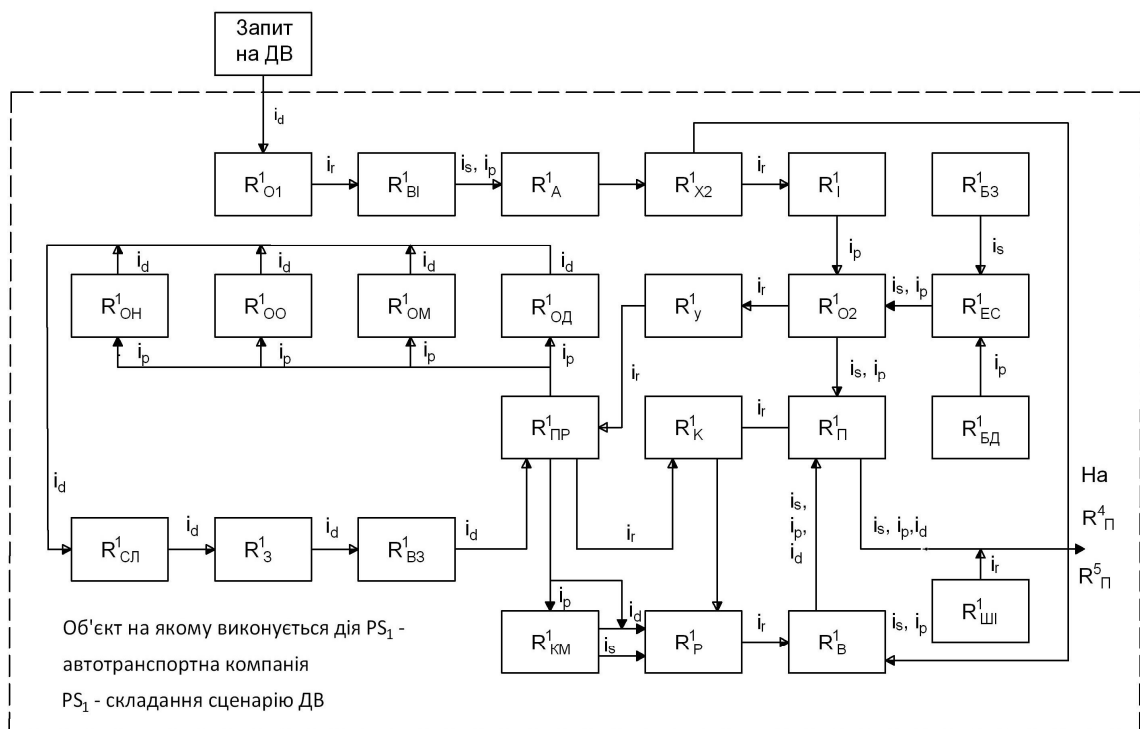


Рисунок 2 - Структура інформаційного забезпечення дії PS1  
Figure 2 - The structure of the information support of the PS1

На рис. 2 вже вони представлені в рамках дії PS<sub>1</sub> – складання сценарію ДВ, який виконується спеціалістом автотранспортної компанії – диспетчером (логістом) при отриманні інформаційної заявки на ДВ. Екземпляр сценарію доставки вантажу (в електронній або паперовій формі) передається приз-



На рис. 4 показаний цей підхід, він існує вже більше ста років і обумовлений деякими особливостями. По-перше: водії не є завжди підготовленими людьми до абстрактного мислення, яке вимагає системодіяльний підхід, рис. 5. По-друге, всі сприйняття водія направлені на роботу системи автомобіля, про несправність, яку інформував відповідний датчик. Це відбувається в залежності від особливостей функціонування свідомості водія, який фіксує тільки виявлену несправність. Всі сприйняття і інформованість його підпорядковано одній думці: як не допустити зупинку доставки вантажу і затримки автомобіля в дорозі. Це при цьому, якщо грамотний водій знає про існування похибок 1-го і 2-го роду  $\alpha_{6,3}^B$  і  $\beta_{6,3}^B$ . Похибка  $\alpha_{6,3}^B$  полягає в тому, що функціонування системи автомобіля приймається несправною, при фактично працездатній. Даний факт призводить до матеріальних затрат, до економічних втратам, які виникають при виконанні технічного обслуговування або ремонті фактично справних систем автомобіля. Куди гірше похибка 2-го роду  $\beta_{6,3}^B$  – коли робота системи приймається справною при фактично несправній системі, тут виникає ризик потрапити в дорожньо-транспортну пригоду (ДТП):  $ТП = \{Ин, Син, Ав, ТАв\}$ . Особливо, якщо ця несправність, наприклад, гальмівної системи автомобіля. Падіння тиску в гальмівній системі загрожує попаданню в ДТП при зіткненні з другим рухомим об'єктом або попаданню в інші умови руху, з другими учасниками руху по автомагістралях, згадаємо доповнену аббревіатурну формулу ВАДСУІТ, У – інші учасники руху.

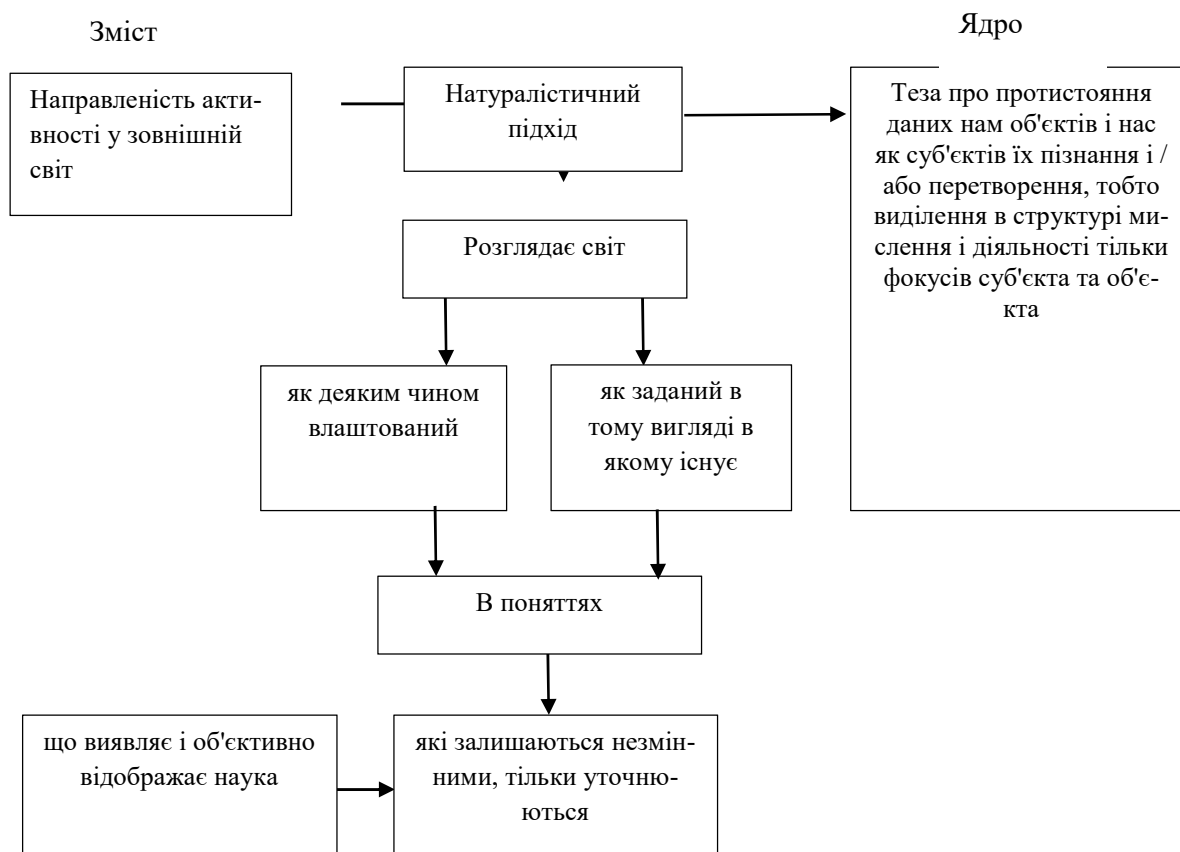


Рисунок 4 - Натуралістичний підхід в діяльності по прийняттю рішення  
 Figure 4 - Naturalistic approach to decision-making activities

Застосування методології системодіяльного підходу і в умовах ІАЦ автомобільного транспорту важко, якщо не мати експертну систему з доменами знань окремо по елементам формули ВАДСУІТ і

по іншим системним елементам. В сукупності можливо розмовляти про базу знань окремо концептуально і фактуально. В концептуальній базі знань повинні зберігатися схеми життєзабезпечуючих систем автомобілів даного типу, дані по конкретному водію, шляхам по яким проводиться ДВ, прогноз середовища руху автомобіля, постійно діюча інформація різного характеру і інше. В фактуальній базі знань повинен бути сценарій ДВ, процесу доставки вантажу з поправками на фактичне виконання по часу і простору контрольно-часових точок (КЧТ), кількісні і якісні оцінки поточної інформації про ДВ і технічному стані автомобіля і багато інше. Рисунки 4 і 5 дають тільки схематичну картинку методологічних підходів, тому на рис. 6 представлена структура інформаційного забезпечення дії PS<sub>6.3</sub> в частині ідентифікації технічного стану систем автомобіля. Там же показані домени знань водія при виявленні несправності систем, які контролюються датчиками. Водії, як і всі нормальні люди, мають п'ять органів почуттів [9]:

- візуальне (загальне сприймання інформації, дим над капотом, від коліс автомобіля, візуальний огляд виробів систем автомобіля й інше.);
- на смак (майже не застосовується при діагностуванні несправностей автомобіля);
- тактильне (невластивий нагрів виробів системи, який відчувається при прикладанні лодоні людини, м'язові відчуття, почуття прискорення і/або гальмування [10] і т.п.);
- нюхове (запах гару, нагрітих виробів системи автомобіля і т.п.);
- аудіальне (невластиві звуки при роботі виробів системи, двигуна, переговори с диспетчером автотранспортної компанії про зміну маршруту ДВ, інформація від других водіїв по питанням сполучених з несправністю системи автомобіля і т.п.).

Но ці сенсорні сприйняття мало допомагають, якщо технічні параметри «хитро», латентної «приховано» сигналізують про несправність систем, особливо двигуна і ряду виробів, які зв'язані з роботою двигуна єдиною функціональною залежністю. Ці реально існуючі факти можуть бути тільки виявлені діагностичною апаратурою, яка є не на кожній станції технічного обслуговування (СТО) даного типу автомобіля, або при більшій обробці інформації в умовах інформаційного-аналітичного центру автотранспорту країни. Ось відповідь на основне питання: чому треба залучати ІАЦ автотранспорту при виконанні ДВ, особливо при доставці вантажу в країни далекого зарубіжжя. Для усунення таких випадків треба злагоджена робота водія ПТК, диспетчера (логіста) і наукового співробітника ІАЦ. Скажемо, при виявленні прогресуючої несправності системи типу: визначаючий параметр системи намагається до виходу з трубки значень параметру, якій властивий працездатний стан системи, з значним градієнтом. Про цей факт водію необхідно доповісти відразу же диспетчеру (логісту) автотранспортної компанії. Диспетчер (логіст) по довідковій літературі знаходить адресу і телефонний номер СТО, у якої є обладнання для діагностики по шляху руху ПТК з цілю доставки вантажу. Якщо є запас по часу розвитку несправності, то і СТО може бути на значному віддаленні від маршруту доставки вантажу. Якщо ні, то треба як можливо швидше доїхати до відповідної СТО.

Диспетчер (логіст) інформує про ситуацію, що склалася водія ПТК і рекомендує йому змінити маршрут ДВ для виконання технічного обслуговування автомобіля. Паралельно зі зміною маршруту доставки вантажу, який виконує водій, диспетчер (логіст) зв'язується по супутниковому (мобільному) зв'язку з адміністрацією СТО і робить заказ на технічне обслуговування відповідного типу автомобіля і рекомендує ще раз переконатися в несправності системи за допомогою діагностичної апаратури. Поряд з цим заказує необхідні запасні частини, інструменти і прибори (ЗІП), з тим, щоб простій автомобіля був би мінімальний. Тобто, коли ПТК прибуває на СТО його вже чекають і з необхідним ЗІПом. Після ТО (ремонт) автомобіля, якщо це необхідно, ПТК повертається на маршрут або його диспетчер (логіст) направляє по іншому маршруту, но з умовою обов'язкової доставки вантажу за призначенням. Такий розклад справ буває при  $PC_1 = \{СКВТ_k, СКВТ_{ск}\}$ ,  $PC_1 \subset PC$ . Зроблений висновок наступного змісту:

1. При порівнянні незначних матеріальних витратах уникаєм значну зупинку ПТК при доставці вантажу за призначенням і в строк.

2. Інформаційне забезпечення проявляє себе, як керуючий елемент процесу.

Інформація, яка поступає з датчиків систем автомобіля, повинна мати відповідні значення (близькими до одиниці) достовірності, повноти, однорідності і безперервності, а ІЗ в цілому повинно бути оперативне і економічне, тобто стоїть питання репрезентативності (представництво)  $IЗ R_{\text{ср}} IS$ .

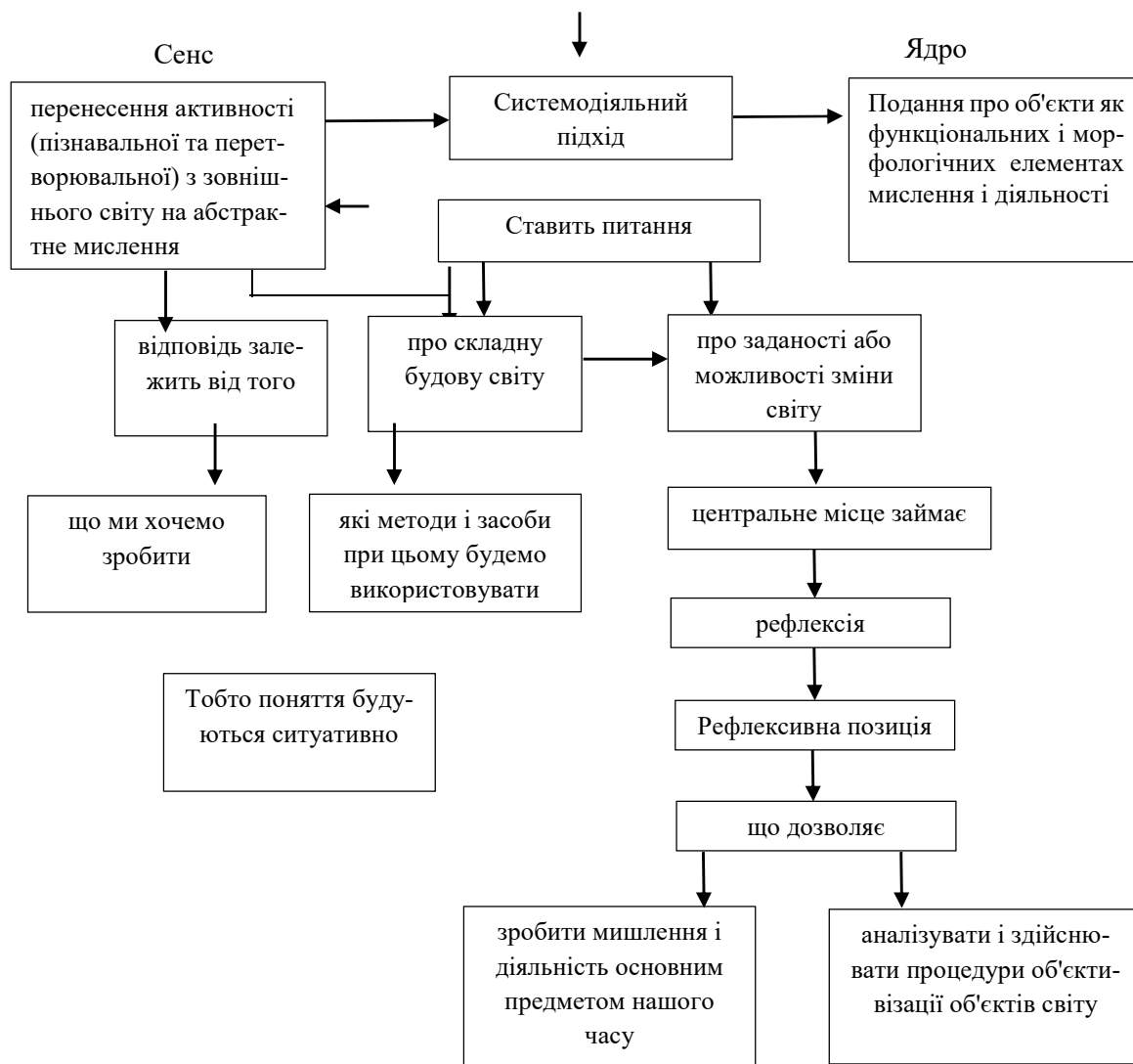


Рисунок 5 - Системодіяльний підхід в діяльності по прийняттю рішення

Figure 5 - System-based approach in decision-making activities

**Визначення 88.** Репрезентативність системи інформаційного забезпечення – характеризує якість даних наданих вченим і практикам експлуатації транспортних засобів і включає критерії оперативності  $\Omega$  і економічності інформаційного забезпечення  $\Sigma$ , достовірності  $\Delta$ , однорідність  $O$ , і безперервність  $N$  інформації

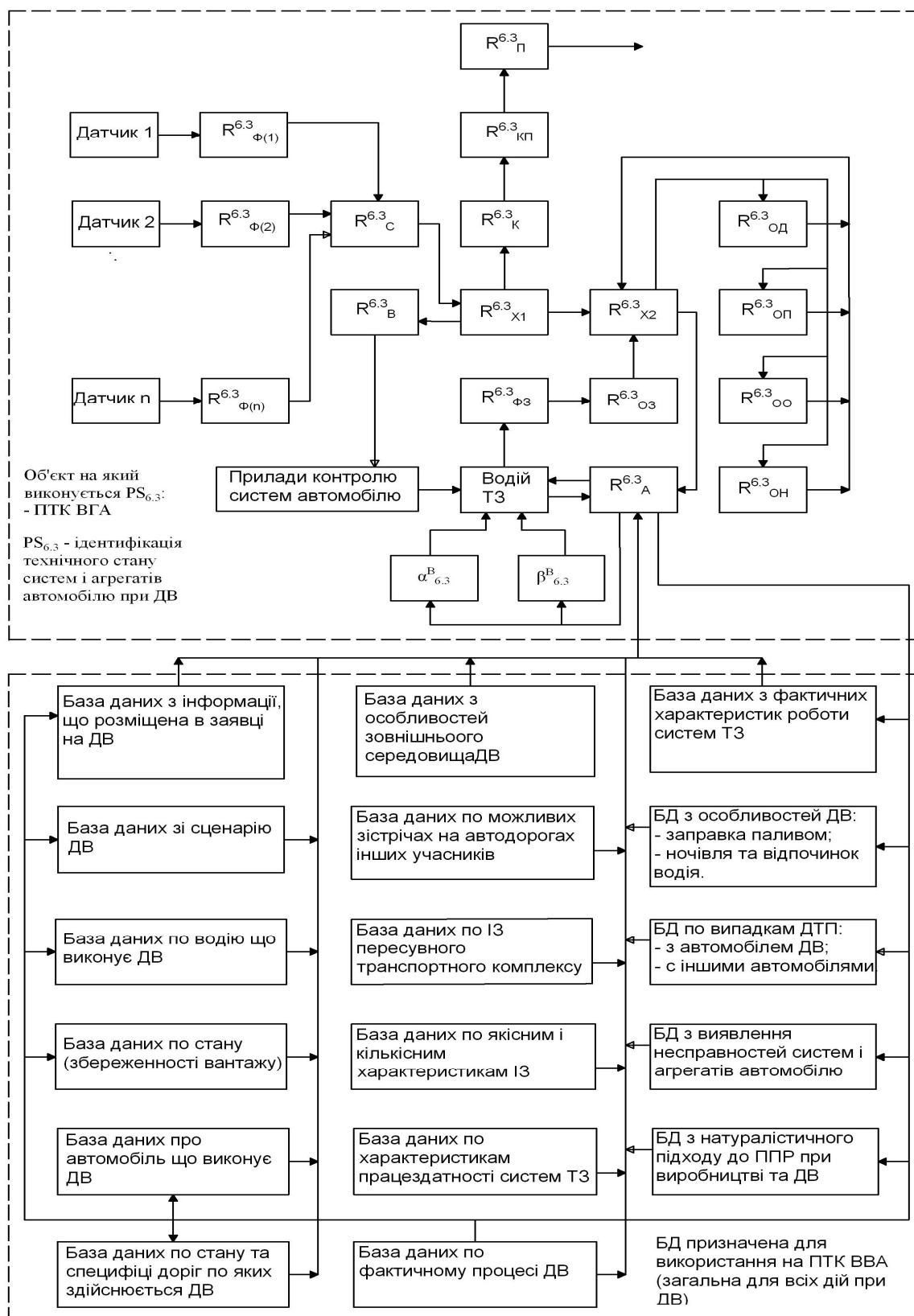


Рисунок 6 - Структура ІЗ дії PS<sub>6.3</sub> в частині ідентифікації технічного стану систем ТЗ

Figure 6 - Structure of the action of PS<sub>6.3</sub> in terms of identifying the technical condition of vehicle systems

Ми запропонували серію статей на глобальну тему про пропозиції по удосконаленню термінології транспортної системології. В даній статті дано 17 термінів і їх визначень, які направлені на одноманітне розуміння сутності транспортної системології. Наголос зроблений на сучасне трактування описів і модельного ряду декларативного, семантичного і логічного відображення реальних транспортних процесів, зокрема, процесів перевезення вантажів. Багато визначень зроблено і по лінії інформаційного забезпечення операцій і дій по ДВ, так як зроблена однозначна відповідь про необхідність мати міцне ІЗ для керування процесами доставки вантажу. Процес прийняття рішень, який супроводжує практично кожному дію ПДВ повинен мати, в якості інформаційної підтримки інтелектуальне інформаційне забезпечення. До речі сказати, багато сучасних дослідників, які працюють в області транспортної техніки і технології, називають транспортні засоби, які обладнані елементами інтелектуалізації – «інтелектуальним транспортним засобом». Не може «шматок заліза» бути інтелектуальним. Інтелектуальним є інформаційне забезпечення, користуючись яким транспортний засіб в цілому підпадає під категорію інтелектуалізації.

### Перелік посилань

1. Петрашевський О.Л. Пропозиції щодо удосконалення термінологічної системи транспортної системології (частина 1) / О.Л. Петрашевський // НТЗ НТУ «Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті». – Київ, – вип. 3. – 2017. – С. 102–107.
2. Петрашевський О.Л. Пропозиції удосконалення термінологічної системи транспортної системології (частина 2) / О.Л. Петрашевський // НТЗ НТУ «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Київ, вип. 100. – 2017. – С. 239–249.
3. Петрашевский О.Л. Предложения по совершенствованию терминологии транспортной системологии (часть 3) / О.Л. Петрашевский, И.И. Попельш, А.В. Алексеенко, С.А. Коритчук // НТЗ НТУ «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Київ, вип. 104 – 2018. – С. 67–63.
4. Петрашевський О.Л. Пропозиції удосконалення термінологічної системи транспортної системології (частина 4) / О.Л. Петрашевський, І.І. Попелиш, О.В. Алексеенко, С.О. Корітчук, Ю.В. Артемчук // НТЗ НТУ «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Київ, вип. – 201. – С. 172-181.
5. Новейший словарь иностранных слов и выражений. – Мн.: Современный литератор, 2006. – 972 с.
6. Петрашевский О.Л. Интеллектуализация информационного обеспечения управления эксплуатацией авиационной техники: дисс. доктора техн. наук: 629.735. 083. / Петрашевский Олег Львович // – К.: НАУ. – 1992. – 471 с.
7. Расторгуев С.П. Введение в формальную теорию информационной войны. – М.: Вузовская книга, 2002. – 120 с.
8. Колпаков В.М. Теория и практика принятия управленческих решений: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: МАУП, 2004. – 504 с.
9. Інформаційне забезпечення туризму: підручник / М.Ф. Дмитриченко, В.Г. Седой, М. М. Дмитрієв та інші. // Під заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: НТУ, 2012. – 576 с.
10. Котик М.А., Емельянов А.М. Природа ошибок человека – оператора (на примерах управления транспортными средствами). – М.: Транспорт, 1993. – 252 с.
11. Пржибыл Павел, Свитек Мирослав. Телематика на транспорте. Пер. с чешского. Под ред. проф. Сильянова В.В. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540 с.

PROPOSALS FOR IMPROVING OF TRANSPORT SYSTEMOLOGICAL TERMINOLOGY

(Part 5)

**Petrashevskiy Oleh Lvovych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Department of Airports, Professor, [olp47@ukr.net](mailto:olp47@ukr.net), +380996092476, id ORCID: [orcid.org/0000-0001-7909-6057](https://orcid.org/0000-0001-7909-6057)

**Popelish Ivan Ivanovich**, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Department of Airports, Associate Professor; e-mail: [i\\_i\\_p@ukr.net](mailto:i_i_p@ukr.net), тел.: +380668827221; id ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-6565>

**Alieksiienko Oleksandr Valeriiovych**, National transport university, Department of Airports, senior lecturer; e-mail: [alexalieksiienko@gmail.com](mailto:alexalieksiienko@gmail.com), тел. +380636039903; id ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3796-9929>

**Koritchuk Sergey Oleksandrovich**, National Transport University, Department of Airports, Assistant, [k.s2501@ukr.net](mailto:k.s2501@ukr.net), +380938133430; id ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>

**Artemchuk Yuliia Volodymyrivna**, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, Assistant, e-mail: [art\\_julia@i.ua](mailto:art_julia@i.ua), тел.: +380636047172; id ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3872-7745>

**Summary:** The material of this part of the general methodological section on the creation of a modern terminological system of cargo delivery (DV) is based on the terms and definitions given in previous parts of the global article on proposals for improving of transport systemological terminology [1-4]. This is especially true of such an important activity as information support (IS)

**Keywords.** Declarative-graphic description, theoretical-plural model, design model, risk of cargo delivery, cargo delivery scenario, information support.

**References**

1. Petrashevskiy O.L. Propozytsii Shchodo Udoskonalennia Terminolohichnoi Systemy Transportnoi Systemolohii (Chastyna 1) / O.L. Petrashevskiy // NTZ NTU «Informatsiini Protsey Tekhnolohii Ta Systemy Na Transporti – Київ, – вип. 3. – 2017. – P. 102–107.

2. Petrashevskiy O.L. Propozytsii Udoskonalennia Terminolohichnoi Systemy Transportnoi Systemolohii (Chastyna 2) / O.L. Petrashevskiy // NTZ NTU «Avtomobilni Dorohy I Dorozhnie Budivnytstvo». – Kyiv Vyp. 100. – P. 239–249.

3. Petrashevskiy O.L. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu termynolohyy transportnoi systemolohyy (chast 3) / O.L. Petrashevskiy, Y.Y. Popelysh, A.V. Alekseenko, S.A. Korytchuk // NTZ NTU «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». – Kyiv, vyp. 104 – 2018. – P. 67–63.

4. Petrashevskiy O.L. Propozytsii udoskonalennia terminolohichnoi systemy transportnoi systemolohii (chastyna 4) / O.L. Petrashevskiy, I.I. Popelysh, O.V. Alieksiienko, S.O. Koritchuk, Yu.V. Artemchuk // NTZ NTU «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». – Kyiv, vyp. – 201. – S.172-181.

5. Noveishyi slovar ynostrannykh slov y vyrazhenyi. – Mn.: Sovremennyy lyterator, 2006. – 972 s.

6. Petrashevskiy O.L. Yntellektualyzatsiya ynformatsyonnoho obespechenyia upravlenyia yksploatatsyei avyatsyonnoi tekhnky: dyss. doktora tekhn. nauk: 629.735. 083. / Petrashevskiy Oleh Lvovych // – K.: NAU. – 1992. – 471 s.

7. Rastorhuev S.P. Vvedenye v formalnuiu teoryiu ynformatsyonnoi voyny. – M.: Vuzovskaia knyha, 2002. – 120 s.

8. Kolpakov V.M. Teoryia y praktyka pryniatyia upravlenchyskykh reshenyi: Ucheb. posobyе. – 2-e yzd., pererab. y dop. – K.: MAUP, 2004. – 504 s.

9. Informatsiine zabezpechennia turyzmu: pidruchnyk / M.F. Dmytrychenko, V.H. Sedoi, M.M. Dmytriiev ta insh. // Pid zah. red. M.F. Dmytrychenka. – K.: NTU, 2012. – 576 s.

11. Kotyk M.A., Emelianov A.M. Pryroda oshybok cheloveka – operatora (na prymerakh upravlenyia transprtnymy sredstvamy). – M.: Transpjrt, 1993. – 252 s.

12. Prshybyl Pavel, Svytek Myroslav. Telematyka na transporte. Per. s cheskocho. Pod red. prof. Sylianova V.V. – M.: MADY (HTU), 2003. – 540 s.

VEHICLE DELAY AT THE CROSSROADS AND ROAD JUNCTIONS

ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПЕРЕХРЕЩЕННЯХ ТА ПРИМИКАННЯХ  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ



*Sokolenko Tetiana Viktorivna, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, postgraduate student, iamtanuxa@gmail.com, +380937875015*

*<https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>*

**Summary.** The main types of maneuvers on crossings and adjoints of highways in one level are studied. The probability of an unobstructed injection of a vehicle from a secondary to the main road and vice versa, taking into account the average length of the free interval between the vehicles of the main stream, is determined. The dependence of the duration of free intervals, and their number, on the intensity of traffic, the composition of the traffic flow, and the speed of vehicles, was found. A series of equations was obtained for determining the total transport delay in the performance of various types of maneuvers, depending on the type of intersection or adjacency. Vehicle delays at crossings and adjacent roads are used to economically justify changing their parameters. Therefore, the work is designed to minimize the delays of vehicles at crossings and interconnections both in one and at different levels.

**Key words:** road, maneuver, free interval, car, delay.

**Introduction.** The economic justification for the reconstruction of the highway is based on the time of unhindered passage of the road section. The study takes into account vehicle delays not only along the main road, but also on secondary roads, which makes it possible to more accurately describe the flow of traffic. In determining the delays at crossings and adjacencies, a reduction in the speed, stop, waiting time and travel without delay during vehicle maneuvers are taken into account, and these data are subsequently used to economically substantiate the change of cross-linking and adjacent parameters. Existing methods only consider the reduction of the speed of the entrance to the intersection or the adjoining, with its subsequent increase when you go to the main road. They do not take into account the travel of vehicles with a stop and expectations for maneuvering. In order to more accurately determine the time of car delay, intersections and adjoints, it is necessary to take into account not only the intensity and change of speed, but also precisely understand the pattern which vehicle makes and take into account the time spent as a change in speed when performing maneuvers, and on expectations Possibility of filling the injection into the main transport stream. To calculate the average delay in transport on the adjacency or intersection of roads it is very important to take into account time intervals between cars and groups of cars moving by the main stream. Since the availability of free intervals depends on the vehicle's ability to perform the maneuver, that is expected.

**Objectives and Methods.** For a more precise definition of the delay time of vehicles at the intersections and adjacencies of highways, one must investigate: the traffic flow, both on the main road and on the secondary one; the average length of movement of groups of cars along the main road and the time intervals with which vehicles proceeding on a secondary road. Record the number of cars waiting to be maneuvered and the number of cars passing without delay. The task is to get a dependency to calculate the waiting time of the car before maneuvering, taking into account the type of adjoining or intersection and the type of maneuver.

**Results and Explication.** Delay arises when performing maneuvers by vehicles at adjacency and intersections as a result of insufficient length of the free interval. The main condition for a free travel without delay is the availability of free intervals between groups of cars moving along the main road. The free intervals should be sufficient for maneuvering.

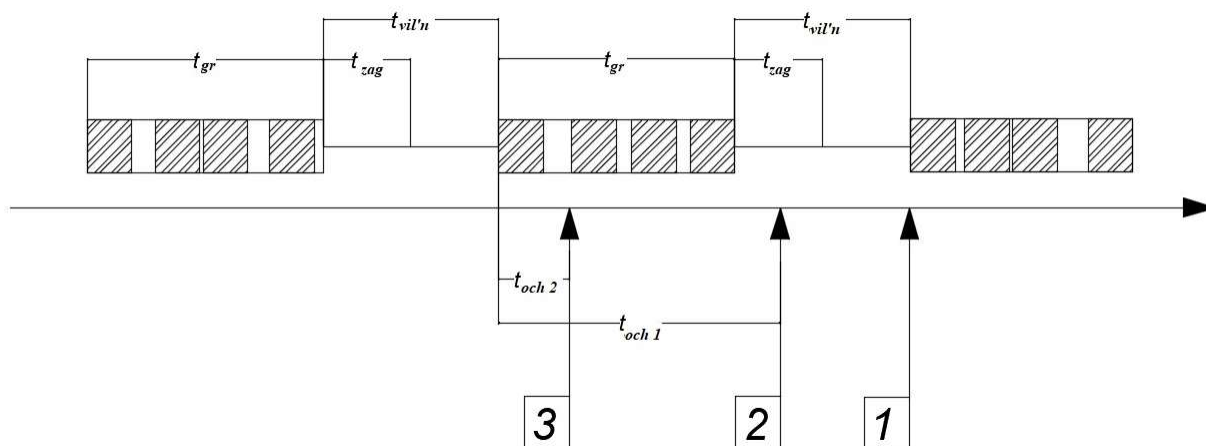


Figure 1 – The scheme of infusion of vehicles from the secondary road into the main stream of the main road: ( $t_{gr}$ ) travel time of a group of vehicles, seconds. ( $t_{zag}$ ) time required for maneuvering, seconds. ( $t_{vil'n}$ ) duration of the free interval, seconds. ( $t_{och1}$ ) waiting time for the vehicle's maneuver №2, seconds. ( $t_{och2}$ ) waiting time for maneuver of vehicle number 3 (1) vehicle number 1 (2) vehicle number 2 (3) vehicle number 3

Рисунок 1 – Схема вливання транспортних засобів із другорядної дороги в основний потік головної дороги: ( $t_{gr}$ ) час у дорозі групи транспортних засобів, секунд. ( $t_{zag}$ ) час, необхідний для маневрування, секунди. ( $t_{vil'n}$ ) тривалість вільного інтервалу, секунд. ( $t_{och1}$ ) час очікування для маневру транспортного засобу №2, секунд. ( $t_{och2}$ ) час очікування для маневру транспортного засобу № 3 (1) транспортного засобу № 1 (2) транспортного засобу № 2 (3) транспортного засобу №3

In Figure 1, there are three cases of injection of cars from the secondary road into the main stream of the main road. In the first case, car number 1 has enough time to perform maneuvers and travels without delay. In the second case, the time to carry out the maneuver by car number 2 is not enough, so the waiting time of the car will be  $t_{och1}$ . In the third case for car number 3, waiting time for a car for maneuver is  $t_{och2}$ . The waiting time for the car is partly from the  $t_{zag}$  and the driving time of the car group  $t_{gr}$ . In option 3, waiting time will be a part of the time from the  $t_{gr}$ .

The car that drives to the adjacency is waiting for the time interval on the main road to be sufficient to perform the maneuver (freeman ( $t_{zag} + t_{gr}$ )). In the event that the condition ( $t_{vil'n} > (t_{zag} + t_{gr})$ ) is not executed, there is a delay of vehicles and a queue is formed. The ratio  $(t_{zag} + t_{gr}) / t_{on}$  shows the share of fate on the number of cars on the secondary road (N2), which can wait until the maneuver. The total delay includes both time for maneuver and time spent on braking before maneuvering. While the timing of the maneuver in turn consists directly from the very maneuver and subsequent acceleration of the car to the required speed of movement:

$$t_{zag} = t_{kr} + t_{rozg} \quad (1)$$

where  $t_{kr}$  - time spent by the car, to travel through the curve of the area of adjoining.

$t_{rozg}$  - time of acceleration of the car to speed on the main road.

There is a condition: the greater the intensity of the movement, the less free intervals.

$$t_{vilm} = f(N, c, V) \quad (2)$$

where  $N$  - intensity of movement;  
 $c$  - the structure of the traffic flow;  
 $V$  - average speed on the main road.

Therefore, traffic on the main road will be characterized by the presence of free intervals and driving group of vehicles

The intensity will be:

$$N_1 = n_{gr} n_{cars} \quad (3)$$

where  $n_{gr}$  - number of groups of vehicles moving along the main road per unit time, pcs. ;

$N_{cars}$  - the number of vehicles in the group, vehicle.

Average travel time for 1 group of vehicles:

$$\bar{t}_{gr} = \bar{t}_{cars} \cdot n_{cars} \quad (4)$$

where  $\bar{t}_{cars}$  - average interval of 1 vehicle, c. ;

$n_{cars}$  - number of vehicles in a group, pcs.

Average free time interval:

$$\bar{t}_{vilm} = \frac{3600}{n_{gr}} - \bar{t}_{gr} \quad (1.5)$$

where  $t_{gr}$  - average length of movement of 1 group of vehicles, s. ;

$n_{group}$  - the number of groups of vehicles going through the lane per unit time, pc.

To determine the transport delay, when performing any maneuver on the intersection or adjacency, the number of vehicles waiting for the maneuver is determined:

$$N_{zatr} = \frac{t_{zag} + \bar{t}_{gr}}{\bar{t}_{vilm}} \cdot N_2 = \frac{t_{zag} + \bar{t}_{gr}}{\frac{3600}{n_{gr}} - \bar{t}_{gr}} \cdot N_2 = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag} + \bar{t}_{gr})}{3600 - \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \quad (6)$$

where  $N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / year;

$N_1$  - intensity of movement on the extreme right lane of the main road, vehicles / hour;

$t_{zag}$  - time required for maneuvering, sec.

$t_{gr}$  - average time of the group of vehicles, sec.

The vehicle can drive to the adjacency at any time interval within  $0 - (t_{general} + t_{gr})$ . The maximum delay of the transport will be when, at the time of arrival to the adjacency, the value of the free time interval on the main road will be approximated to 0. The minimum delay of the transport will be when the value of the free interval will be close to  $(t_{zag} + t_{gr})$ .

The total delay in transport, when performing any maneuver, will be equal to:

$$t_{zatr} = n_{zatr} \cdot \frac{t_{zag} + t_{gr}}{2} = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag} + \bar{t}_{gr})}{3600 - \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \cdot \frac{t_{zag} + \bar{t}_{gr}}{2} = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag} + \bar{t}_{gr})^2}{7200 - \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \quad (7)$$

where  $\frac{t_{zag}+t_{gr}}{2}$ - the average duration of delay, sec .;

$n_{zatr}$ - number of vehicles waiting for the maneuver, pcs;

$N_1$  - intensity of movement on the extreme right lane of the main road, vehicles / hour;

$N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / hour;

$t_{zag}$  - time required for the maneuver, sec;

$\bar{t}_{gr}$  - average length of the journey of a group of vehicles, sec.

The general delay of transport, when performing the maneuver of the vehicles from the secondary to the main road, will be equal to:

$$t_{zatr} = \frac{n_{gr}N_2(t_{zag}+\bar{t}_{gr})^2}{7200-2\cdot\bar{t}_{gr}\cdot n_{gr}} \quad (8)$$

where  $n_{gr}$  is the number of groups of vehicles going through the lane per unit time, pcs .;

$N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / hour;

$t_{zag}$  - time required for maneuvering, sec.;

$\bar{t}_{групи}$ - average length of driving of a group of vehicles, sec.

Let's consider three cases of a maneuver of the right turn from the secondary road to the main one. Figure 2 shows the scheme of the vehicle when performing the maneuver of the right turn from the secondary road to the main without delay.

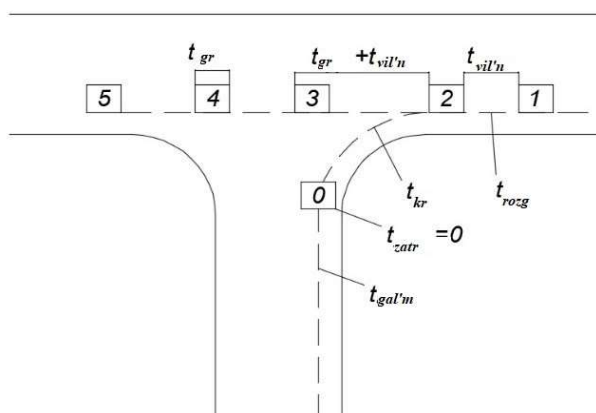


Figure 2 – Scheme of vehicle movement when performing the maneuver of the right turn from the secondary road to the main without delay:  $t_{gr}$  - average length of movement of 1 group of vehicles, s

Рисунок 2 – Схема руху транспортного засобу при виконанні маневру правого повороту від другорядної дороги до головної без затримок:  $t_{gr}$  - середня довжина руху 1 групи транспортних засобів, с

Figure 3 shows the scheme of movement of the vehicle when performing the maneuver of the right turn from the secondary road to the main with a minimum loss of time:

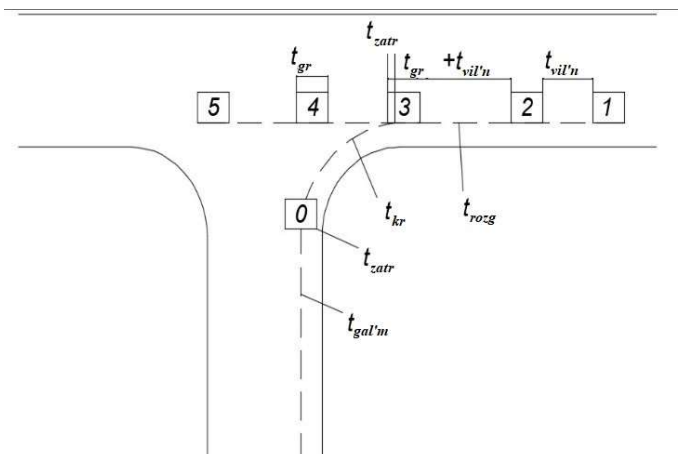


Figure 3 – Scheme of vehicle movement when performing the right turn maneuver from the secondary road to the main with a minimum loss of time

Рисунок 3 – Схема руху транспортного засобу при виконанні маневру правого повороту від другорядної дороги до основної з мінімальними втратами часу

Figure 4 shows the scheme of the vehicle movement when performing the right turn maneuver from the secondary road to the main with the maximum delay value:

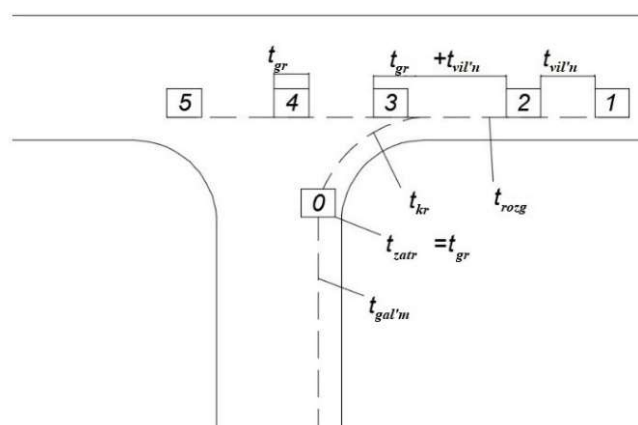


Figure 4 – Scheme of car movement when performing the right turn maneuver from the secondary road to the main with the maximum value of delay

Рисунок 4 – Схема руху автомобіля при виконанні маневру правого повороту від другорядної дороги до головної з максимальним значенням затримки

General delay of transport, when performing the maneuver of the right turn from the secondary road to the main, is determined with the formula:

$$t_{zatr} = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag1} + \bar{t}_{gr})^2}{7200 - \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \quad (9)$$

where  $n_{gr}$  - number of groups of cars going through the lane per unit time, pcs .;

$N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / hour;

$t_{zag1}$  - total time required for maneuvering the right turn from the secondary road to the main, sec .;

$\bar{t}_{gr}$  - average length of driving of a group of vehicles, sec.

Figure 5 shows the scheme of the vehicle movement when performing the right turn maneuver from the main road to the secondary without a delay:

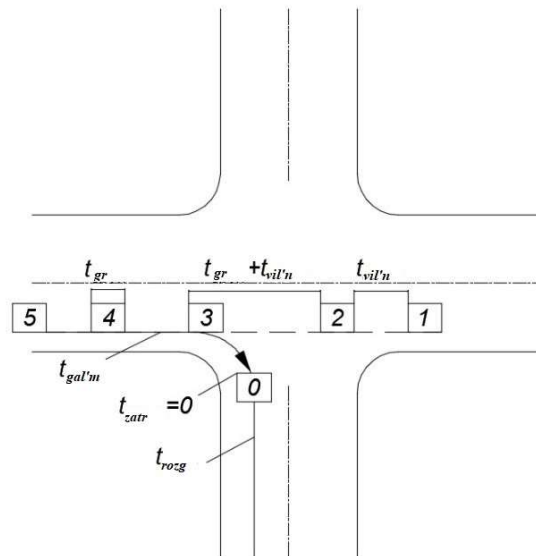


Figure 5 – Scheme of the vehicle movement when performing the right turn maneuver from the main road to the secondary without delay

Рисунок 5 – Схема руху транспортного засобу при виконанні маневру правого повороту з головної дороги на вторинну без затримок

General delay of transport, when performing the right turn maneuver from the main road to the secondary, is determined by the formula:

$$t_{zatr} = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag2} + \bar{t}_{gr})^2}{7200 - 2 \cdot \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \quad (10)$$

where  $n_{gr}$  - number of groups of vehicles going through the lane per unit time, pcs.;

$N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / hour;

$t_{all}$  - total time required to perform the right turn maneuver from the main road, sec.

$t_{gr}$  - average length of driving of a group of vehicles, sec.

The delay of the transport on the intersection, when performing the maneuver of the direct intersection of the main road flow is presented in Fig. 6.

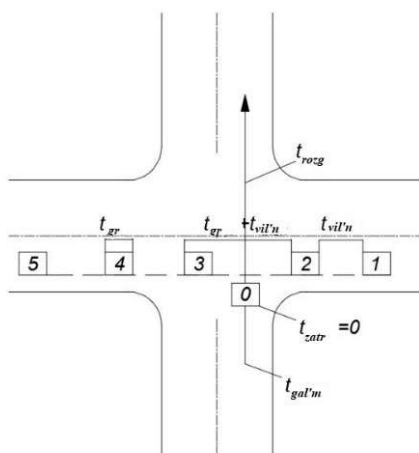


Figure 6 – The scheme of movement of the vehicle when performing the maneuver of the direct intersection of the main road flow without delay

Рисунок 6 – Схема руху транспортного засобу при виконанні маневру прямого перехрестя основного дорожнього потоку без затримок

The general delay of transport, when performing the maneuver of the direct intersection of the main road flow, is determined by the formula:

$$t_{zatr} = \frac{n_{gr} N_2 (t_{zag3} + \bar{t}_{gr})^2}{7200 - \bar{t}_{gr} \cdot n_{gr}} \quad (11)$$

where  $n_{gr}$  - number of groups of vehicles going through the lane per unit time, pcs.;

$N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / hour;

$t_{zag3}$  - total time required to perform the maneuver of the direct intersection of the main road flow, sec.

$\bar{t}_{gr}$  - average length of driving of a group of vehicles, sec.

The number of vehicles traveling without stopping is calculated by the formula:

$$n_{6.3.} = N_2 - n_{zatr} \quad (12)$$

where  $N_2$  - intensity of traffic on a secondary road, vehicles / year;

$n_{zatr}$  - number of vehicles that are waiting for maneuver, pcs.

**Conclusions and recommendations:** The results of the research presented in the article are theoretically and practically substantiated, tested in real conditions. When solving the problems of reducing the overload of crossings and adjacencies of highways in one or more levels, it would be reasonable to use the resulting research formulas to calculate the delay.

### References

1. Crossing and adjoining roads in one level. Methods of designing and organizing traffic. VBN V.2.3-218-192-2005. Ukravtodor K., 2005.
2. VA Hoffman, VM Vizgalov, MP Polyakov. Crossing and adjoining roads. - M.: Higher school, 1989. - 319 p.
3. Keit F. Mathematical theory of transport flows. Moscow, Mir Publ., 1966.
4. Polishchuk VP, Dzyuba O.P. The theory of transport flow: methods and models of road traffic organization / VP Polishchuk, O.P. Dzyuba - K. : Knowledge of Ukraine, 2008. - 175 p.

5. Drew D. The theory of transport flows and their management. М.: Transport, 1972. - 424 p.
6. Polishchuk VP The theory of traffic flow: methods and models of traffic organization: teaching manual / VP Polishchuk, O.P. Dzyuba - К.: Knowledge of Ukraine, 2008. - P. 49 - 169.
7. Designing and searching of intersections of highways / [E.M. Lobanov, V.M. Shevyakov, VA Gohman and others]. - М.: Transport, 1972. - P. 40-84.
8. Palchik AM Transport streams / Palchik AM - К.: NTU, 2010. - P. 26-42, 44-47, 52-54, 87-102.

### ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПЕРЕХРЕЩЕННЯХ ТА ПРИМИКАННЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Соколенко Тетяна Вікторівна**, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, аспірант, iamtanuxa@gmail.com, +380937875015, <https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>.

**Анотація:** Досліджено основні види маневрів на пересіченнях та примиканнях автомобільних доріг в одному рівні. Визначено імовірність безперешкодного вливання автомобіля з другорядної дороги на головну і навпаки, з урахуванням середньої тривалості вільного інтервалу між автомобілями основного потоку. Знайдено залежність тривалості вільних інтервалів, та їх кількість, від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, швидкості руху автомобілів. Отримано ряд рівнянь для визначення загальної затримки транспорту при виконанні різних видів маневрів в залежності від типу пересічення чи примикання. Затримки транспортних засобів на перехрещеннях та примиканнях автомобільних доріг використовуються для економічного обґрунтування зміни їх параметрів. Отже робота розрахована на мінімізацію затримок транспортних засобів на перехрещеннях і примиканнях як в одному так і в різних рівнях.

**Ключові слова:** дорога, маневр, вільний інтервал, автомобіль, затримка.

#### Перелік посилань

1. Перехрещення та примикання доріг в одному рівні. Методи проектування та організації дорожнього руху. ВБН В.2.3-218-192-2005. Укравтодор. К., 2005.
2. В. А. Гофман, В. М. Визгалов, М. П. Поляков. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. – М.: Высшая школа, 1989. – 319 с.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М.: Мир, 1966. — 288 с.
4. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.
5. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
6. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – С. 49 – 169.
7. Проектирование и изыскание пересечений автомобильных дорог / [ Е.М. Лобанов, В.М. Шевяков, В.А. Гохман и др. ]. – М.: Транспорт, 1972. – С. 40-84.
8. Пальчик А.М. Транспортні потоки / Пальчик А.М. – К.: НТУ, 2010. – С. 26-42, 44-47, 52-54, 87-102.

INTEGRAL ASSESSMENT OF STRESS-DEFOMATED CONDITION OF METAL STRUCTURES OF MACHINES UNDER THE ACTION OF STATIC AND DYNAMIC LOADS

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН ПІД ДІЄЮ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ



**Nazarenko Ivan Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Head of the Department of Machines and Equipment for Technological Processes, [i\\_nazar@i.ua](mailto:i_nazar@i.ua), tel.: +38096-148-81-52, <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>



**Kuzminets Mykola Petrovych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Computer, Engineering Graphics and Design, [kuzminecmp@ukr.net](mailto:kuzminecmp@ukr.net), tel. +380442849713, <https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>



**Dedov Oleg Pavlovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Department of Machines and Equipment for Technological Processes, [dedovvcbk@ukr.net](mailto:dedovvcbk@ukr.net), tel. : 067-588-90-84, <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>



**Zalisko Igor Igorovych**, Candidate of Technical Sciences, Director of the company "Production and Commercial Firm Drohobych Truck Crane Plant", [lion677889@gmail.com](mailto:lion677889@gmail.com).

**Abstract.** The article considers a system that combines the influence of static on dynamic loads on the example of the support-rotary circuit of a truck construction crane. The position of the system and its elements with the highest loads is revealed, the method of creating steel structures is investigated, each element, depending on the average load, experiences a stress-strain state. The basic laws of the theory of elasticity and plasticity were used to build a calculated mathematical model of the loaded support-rotary circuit. Equations of motion were compiled taking into account the behavior of structural elements and the machine as a whole under the simultaneous action of different loads.

The calculation scheme was taken in the form of a structure consisting of rods rigidly connected to each other in nodes. As a method of calculation the method of finite elements with definition of displacements (deformations), efforts (stresses) in nodes of a grid of constructive elements of a design of a basic-rotary contour is applied. The stress distribution in each structural element depending on the type of load was obtained. This distribution allowed to choose rational parameters of a design in each its section. The proposed approach allowed to create a solid structure that provides reliability and economy of material. Thus, the results obtained allowed to fully analyze and decide on the simultaneous provision of strength, rigidity and minimum material consumption of the structure.

**Keywords:** modeling, machine, stress-strain state of metal structures, diagnostic systems, support-rotary circuit, dynamic loading.

**Purpose and methods.** The modern development of construction in Ukraine puts forward new requirements for equipment that would ensure high reliability, performance, and a range of economic and ergonomic requirements. To a large extent this applies to steel structures construction vehicles and equipment, demand for which is growing every year. The solution of this problem lies in the direction of improving the design, the identification of the potential of existing structures, improving their productivity and efficiency, the development of diagnostic systems.

Metal construction machines of various technological purpose in the operation accept both static and dynamic loads and tend to work in the mode of alternating load, the effectiveness of such cars due to software defined technology modes and parameters impact on the processed material, which can be realized by careful selection of mathematical calculation models that adequately reflect the actual motion of the system.

Modern machinery provides a solution to a number of issues that are caused by factors of a different nature. The main factor influencing the implementation of projects of construction of new machines are purpose requirements of today's market and directly to consumers of such technology.

Over time, the appearance of new construction materials and technologies for their manufacture and processing, the vector of development of engineering change its direction. Undoubtedly, the design requirements of modern machines and high stiff enough, but the fundamental concepts of what the machine has to be changed somewhat.

That is, when it comes to modern technological machine, is to identify the main issues to be addressed [1, 2]: a low power consumption of the implementation process with a high quality; low consumption of materials; high reliability; certain durability; low manufacturing cost.

In carrying out theoretical studies [1-3], as well as practical implementation [1-6], it began the scientific study of the problem: the development of the most effective and reliable construction machines for different loads, provided by the establishment and management of changes in domestic laws (elastic and dissipative) properties of the system "vehicle - environment".

**The goal of the work.** In recent years, development and creation of construction machines of various technological purpose being to find ways of constructive solutions with a variable. In operation of such machines is assumed maximum utilization of internal resources to the machine in turn makes it necessary to ensure durability and reliability with desired dynamic parameters. Production of such a problem is to determine the intensity of the structural elements of the machine and the assessment of their stress-strain state.

**Results and explanations.** An integrated assessment of the condition of the metal structures of the machine can be performed on the basis of dynamic tests. The idea of such tests is to find the actual dynamic characteristics of the structure (natural frequency, oscillation amplitude, etc.) with subsequent comparison of these characteristics with the characteristics obtained by mathematical modeling of the system. The mathematical model should be designed to adequately describe the actual design and its behavior under different loads, and be able to reflect the simulation of various imperfections associated with the manufacture and direct operation for its intended purpose.

Under dynamic loads on structural elements, which are inherent in most machines for technological purposes, the main type of damage is the formation and development of cracks due to the accumulation of fatigue stresses. Durability in fatigue failure is determined by the long-term cyclic action of loads on the load-bearing structures of the machine and its individual elements, resulting in a crack, gradually develops and leads to failure.

The solution of the problem of determining the study of the stress-strain state is carried out by using a comprehensive approach that combines analytical calculations, mathematical modeling and direct experimental research.

To implement these tasks, the following sequence of studies was provided:

analysis of the behavior of the structural elements of the machine in terms of taking into account all types of loads that were carried out during its operation and determining the possible set of loads acting on the elements;

development of the calculation model of the object of research taking into account the general or separate most loaded knots or constructive elements;

compilation of equations of motion taking into account the behavior of structural elements and the machine as a whole with the simultaneous action of various loads;

assessment of real loads for the development of an algorithm for determining the stress-strain state, identifying the most stressed structural elements;

development on a computer model of a matrix of control points of limit values of integral characteristics of a condition of a design for the further application at full-scale tests;

computer calculations to determine stresses and strains by applying a number of possible loads on the model;

development and carrying out of experimental researches on the samples reflecting real conditions of work of a detail or unit of the machines;

adjustment of the computer model as long as the comparison of the integral characteristics obtained by measurements at the control points during the experiment and during the simulation may differ within the allowable error (thus obtained computer model will be adequate to the actual design within the points adequacy - control points of integral characteristics);

development of recommendations for improvement of the existing or creation of a new design which corresponded to the basic idea of uniformity of distribution of pressure irrespective of the applied forces on elements of the loaded product.

Analysis of possible loads was carried out on the basis of research on the example of truck cranes [4]. This is due to the fact that these machines are a classic example of the structure of the system, which organically combines static and dynamic loads, which require proper consideration for safe operation of the crane in terms of its actual load. The basic laws of the theory of elasticity and plasticity were used to build a calculated mathematical model of the loaded defense industry [4].

Equations of motion were compiled taking into account the behavior of structural elements and the machine as a whole under the simultaneous action of different loads. In the case of a dynamic action on its metal structure (Fig. 1), as a linear elastic body, the equations of motion in the adopted coordinate system (Fig. 2) have the form:

In the case of dynamic performance on metal structure as a linear elastic body, equation of motion has the form:

$$z_{ij,j} + F_i = \rho \cdot U_i, \quad (1)$$

Where  $z_{ij,j}$ - stress tensors, ( $i, j = 1, 2, 3$ );

$F_i$ - components of bulk forces;

$\rho$  - density material;

$U_i$  - vector of movements.

Given the viscous properties then replace in (1) the operator:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Leftrightarrow \rho \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) + k \frac{\partial}{\partial t}. \quad (2)$$

where  $k$ - viscosity.

Equation (2) as such remains unchanged.

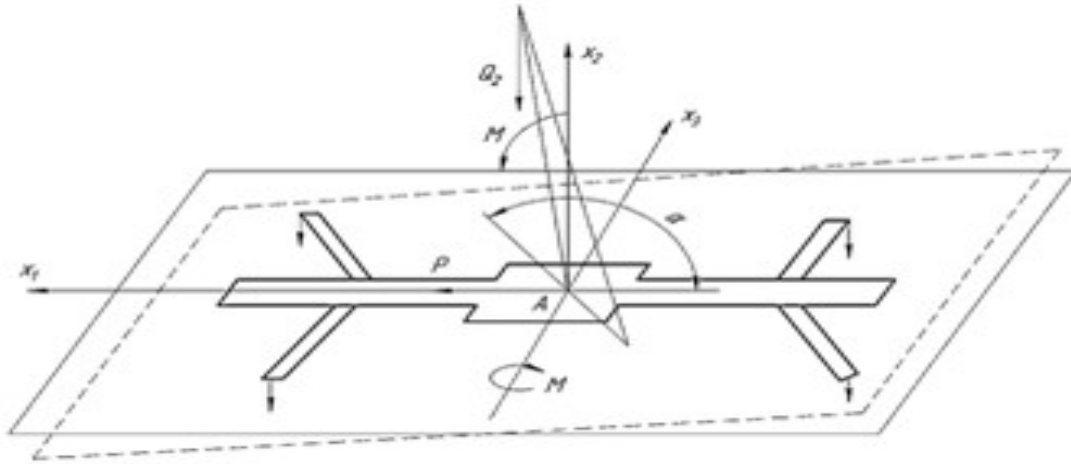


Figure 1 – Calculation scheme of the reference circuit of the truck crane  
Рисунок 1 - Розрахункова схема опорного контуру автокрана

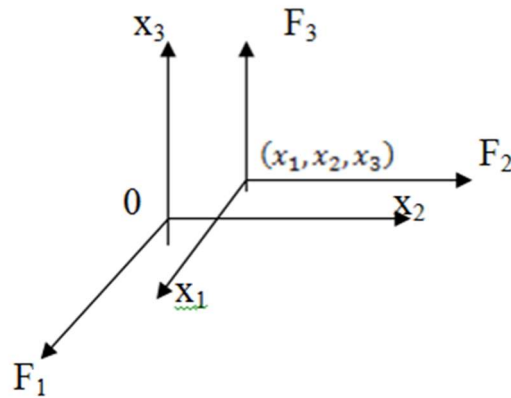


Figure 2 – The coordinate system of the acting forces on the reference circuit of the car  
Рисунок 2 - Система координат діючих сил на опорний контур автомобіля

The notation of the wave propagation velocity in the crane support rotary device is introduced

$$C_1^2 = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \frac{E}{\rho}; \quad C_2^2 = \frac{1}{2(1+\nu)} \cdot \frac{E}{\rho}, \quad (3)$$

For the case when the force  $F(t)$  is common and operates along the axis  $Ox_1$  (at the beginning of the coordinate system)

$$U_1(x_1, x_2, x_3, t) = \frac{1}{4\pi\rho R} \cdot \left[ \frac{1}{C_1^2} \cdot \frac{x_1^2}{R^2} \cdot P\left(t - \frac{1}{C_1}\right) + \frac{1}{C_1^2} \cdot \left(1 - \frac{x_1^2}{R^2}\right) P\left(t - \frac{1}{C_1}\right) - \left(1 - 3\frac{x_1^2}{R^2}\right) \cdot \int_{\frac{1}{C_1}}^{\frac{1}{C_2}} \lambda P(t - \lambda R) d\lambda \right]; \quad (4)$$

$$U_2(x_1, x_2, x_3, t) = \frac{x_1 x_2}{4\pi\rho R} \cdot \left[ \frac{1}{C_1^2} \cdot P\left(t - \frac{R}{C_1}\right) - \frac{1}{C_1^2} \cdot P\left(t - \frac{R}{C_2}\right) + 3 \int_{\frac{1}{C_1}}^{\frac{1}{C_2}} \lambda P(t - \lambda R) d\lambda \right]; \quad (5)$$

$$U_3(x_1, x_2, x_3, t) = \frac{x_1 x_3}{4\pi\rho R} \cdot \left[ \frac{1}{C_1^2} \cdot P\left(t - \frac{R}{C_1}\right) - \frac{1}{C_1^2} \cdot P\left(t - \frac{R}{C_2}\right) + 3 \int_{\frac{1}{C_1}}^{\frac{1}{C_2}} \lambda P(t - \lambda R) d\lambda \right]. \quad (6)$$

If the force acts along the axis OX<sub>2</sub>, then you have to replace the index:

$$y(22) \Rightarrow \begin{cases} 1 \rightarrow 2; \\ 2 \rightarrow 3; \\ 3 \rightarrow 1. \end{cases}$$

If the force acts along the axis OX<sub>3</sub>, then you have to replace the index:

$$y(22) \Rightarrow \begin{cases} 1 \rightarrow 3; \\ 2 \rightarrow 1; \\ 3 \rightarrow 2. \end{cases}$$

For the plane problem ( $x_3 = 0$ ); for one-dimensional problems: ( $x_1 \neq 0$ ;  $x_2 = x_3 = 0$ ).

So, as a result of dependencies are as follows: using Cauchy relations, Hooke's law and relations that bind Lamé elastic constants of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio is decisive for calculating the stress-strain state of stresses in reference circle of application solutions in the form of third-rank tensor (Fig. 3):

$$V_{ijk}(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{8\pi(1-\nu)} \frac{1}{R^3} \left[ (1-2\nu) \cdot (x_k \cdot \delta_{ij} - x_i \cdot \delta_{jk} - x_j \cdot \delta_{ki}) - 3 \frac{x_i x_j x_k}{R^2} \right],$$

$$V_{ijk}(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{8\pi(1-\nu)} \frac{1}{R^3} \left[ (1-2\nu)(x_k \cdot \delta_{ij} - x_i \cdot \delta_{jk} - x_j \cdot \delta_{ki}) - 3 \frac{x_i x_j x_k}{R^2} \right],$$

( $i = 1, 2, 3$ ).

In this case, the right kind of movement will be:  $U_i(x_1, x_2, x_3) = U_{ij}(x_1, x_2, x_3) * F_j(x_1, x_2, x_3)$ , ( $i = 1, 2, 3$ ).

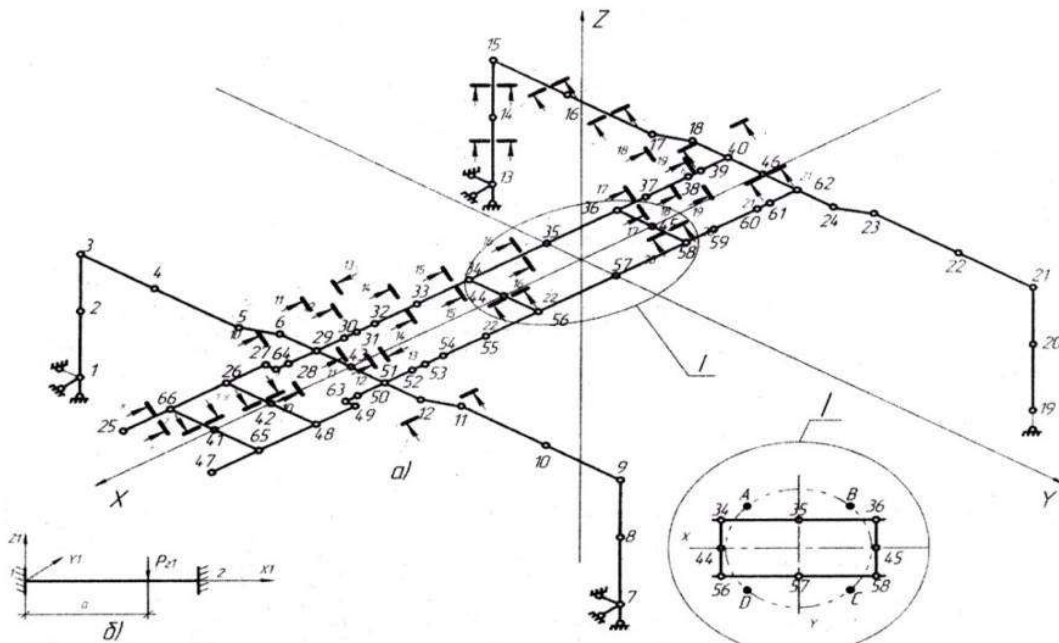


Figure 3 – Estimated scheme of the crane frame  
Рисунок 3 – Розрахункова схема рами автокрана

Design model frame with outriggers shown in Fig. 3 as well. Design model adopted in the form of construction consisting of rods rigidly interconnected the nodes. Units conventionally shown as small circles numbered in Arabic numerals. Serial number of the rod (item) affixed in a circle. Each rod section is now with geometrical characteristics. Design model building on a line connecting the centers of gravity of cross sections of rods.

Design model is in rectangular coordinates X, Y, Z (general coordinate system). The result of the calculation of finite element of this design is shown in Fig. 4.

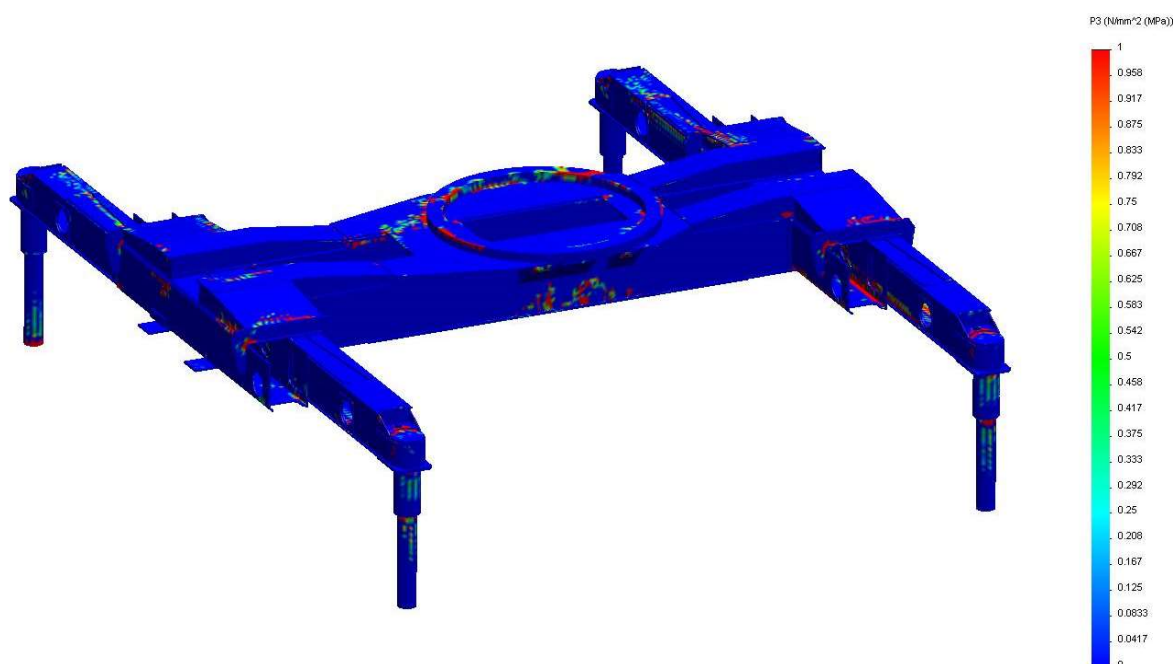


Figure 4 – The result of the calculation of the crane frame

Рисунок 4 – Результат розрахунку рами автокрана

The correctness of the results of mathematical modeling to a greater extent depends on the mechanical properties of structural materials and the study of complex work units bearing structural elements. Test procedures for mechanical characteristics of the static effect is to create a load on the test sample in order to create in it a certain kind of stress (tension, compression, shear). Thus a tensile test determined the basic mechanical characteristics not only of constructional materials, and their connection to each other (Fig. 5a). Quite often undergo static tests not only the individual samples of the materials, but entire units (Fig. 5b) future construction in order to study their stress-strain state and evaluation of stiffness.

It was found that the maximum loads occur in the position of the crane installation, perpendicular to the main axis of the vehicle on which the crane installation is fixed. It was found that of all the nodes of the crane installation, the greatest stresses occur in the Support rotary crane, which provides rotation of the lifting mechanism by 360 degrees. By changing the dynamic and static loads and analyzing the results obtained in Figure 6, the results of the research were changed in the design of the defense industry so that all elements had one order of numerical values of stresses, which in the final design allowed to reduce the mass of the defense industry by 30%.

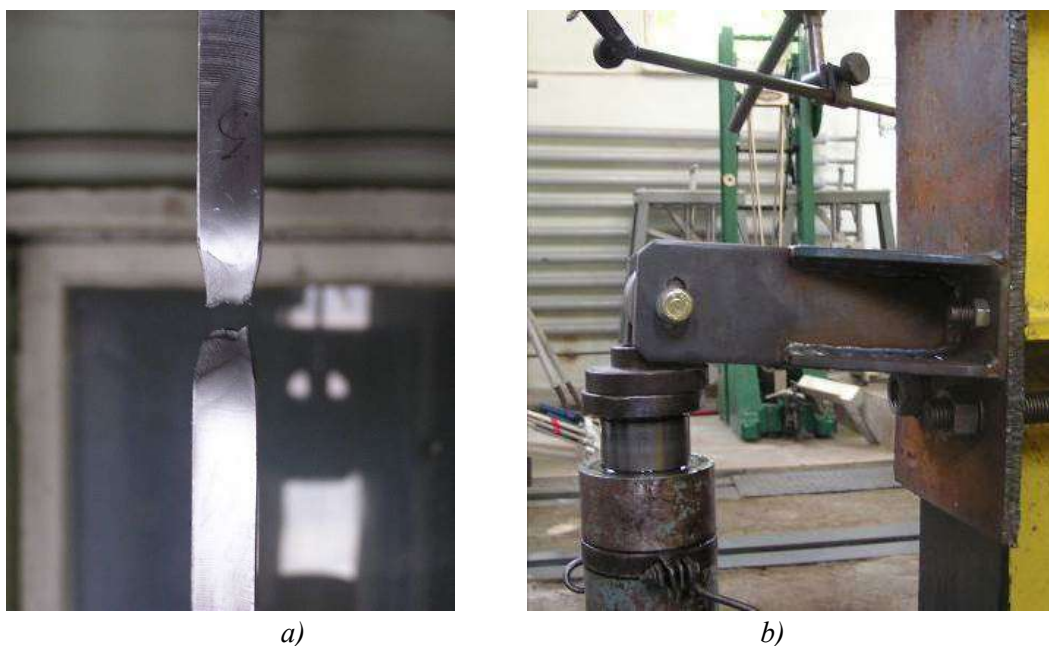


Figure 5 – Testing of structural elements of metal structures:  
 a) - tensile welded joint; b) - bracket strength test

Рисунок 5 – Випробування конструктивних елементів металоконструкцій:  
 а) – випробування зварного з'єднання на розтяг; б) – випробування кронштейна

Integral assessment of the metal structures of the finished product can be made on the basis of the dynamic tests. The idea of testing is to find the actual dynamic characteristics of the structure (natural vibration frequency, vibration amplitude, etc.) and then comparing these characteristics with the characteristics obtained by mathematical simulation of the system design. The mathematical model must be created so that adequately describes the real structure and its behavior under various loads and the ability to reflect the simulations of various kinds of defects associated with the manufacture and operation of the immediate appointment.

At the dynamic loads on structural elements inherent in most vehicles technological purpose, the main type of damage is the formation and development of cracks caused by the accumulation of stress fatigue. Durability destruction determined long cycles of stresses on the supporting structure of the machine and its individual elements, resulting in a crack gradually develops and leads to destruction.

Calculation and testing of individual elements of the design of the machine is not too difficult, although in some cases require a lot of material resources and time-consuming. When it comes to more complex parts and assembly units of the accuracy of the analytical calculation is subject to doubts in terms of the rational use of materials, resulting in an increase in material consumption structure, and further the energy intensity of the whole technological process, which performs such a design.

It is obvious that the solution of this problem lies in the integrated approach should combine analytical calculations, mathematical modeling and direct experimental studies.

To implement this approach assumes the following sequence of research work:

- analysis calculation of structural elements of the machine in terms of for all types of loads that were made in the design of the machine;
- the development of a computer model of the object of study (general or individual most loaded components, structural elements);
- determining a possible combination of loads acting on the elements;

- conduct additional simulations and calculations to determine the behavior of structural elements and the whole machine while the action of various loads (if necessary);

- verification of design decisions and the choice of the most efficient, by modeling teamwork loads on computer models, evaluation and analysis of stress-strain state, identify the most stressful elements of the structure;

- to develop a computer model of the matrix control points limits the integral characteristics of the state of design for future use in field trials;

- conducting full-scale and model (computer experiments) by applying certain loads on the real sample and its model;

- adjusting the computer model until the comparison is integral characteristics obtained by measurements at control points during the experiment and the simulation will differ among themselves within the allowable error (the thus obtained computational model is adequate actual design within the points adequate - integral control points characteristics).

To construct a mathematical model can be used general purpose computational systems, which are based on numerous calculations and the fundamental laws of the theory of elasticity, plasticity, and the like. Recently, such settlement systems have been widely used in various industries, including mechanical engineering. The results of analysis of structures by numerical methods (eg finite element method) is a movement (deformation), effort (stress) at the nodes of the mesh design of the structure. Depending on the need for rational calculation accuracy, the number of nodes and finite elements, respectively, can be measured in hundreds and thousands. On the one hand the processing of the results of such calculations is time-consuming, but allows at the design stage to obtain a general picture of the structural layout of the machine components and the improvement of its conduct in terms of the rational use of materials. In the case of upgrading an existing machine model of technological purpose, calculation model in this sector, will allow to analyze the technical level of the design and fulfill its forecasting reliability, and in conjunction with the implementation of the pilot studies to assess the current technical condition of the appearance of possible failures, and the like.

### **Conclusions and recommendations:**

1. The analysis methods of modeling and machine indicates the need to consider the stress-strain state of the steel structures.

2. Proposed methodology and test methods for machines under static and dynamic loading, the way the software determine the load on the metal machine.

### **References**

1. Nazarenko I.I. Applications of the theory of vibrating systems (second edition). K.: Publishing House "Word." 2010 – 440 p.
2. Nazarenko I.I. Fundamentals of design and construction of machinery and equipment of processing manufactures / I.I. Nazarenko, I.M. Bernik // - K.: LLC "Agrar Media Group», 2013. - 544 p.
3. Nazarenko I.I. Vibrating machines and processes of the construction industry: - K.: KNUCA, 2007. - 203 p.
4. Zalisko I.I. Study of influence of technology factors on durability of the support frame / I.I. Zalisko // Mountain, building, road, reclamation machines - K. : KNUCA, 2012. - №80. - P. 44 - 88.
5. Dedov O.P. / Mathematical model and determination of parameters of movement compactors for soil compaction. / O.P.Dedov // Mountain, building, road, reclamation machines .№ 66, Kiev, 2006, P.41-46.
6. Kuzminets M.P. Evaluation of the reliability of the results of numerical modeling of the stress state of metal structures of switch machines for soil compaction under the pipeline.: PDBA. Issue No. 46. Hoisting-and-transport, construction and road machines and equipment. 2008.- S. 84-91.

**ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН ПІД ДІЄЮ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**Назаренко Іван Іванович**, доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри машин та обладнання для технологічних процесів, i\_nazar@i.ua, тел. : + 38096-148-81-52, <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

**Кузьмінець Микола Петрович**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, kuzminescmp@ukr.net, тел. +380442849713, <https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

**Дедов Олег Павлович**, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, кафедра машин та обладнання для технологічних процесів, dedovvcbk@ukr.net, тел. : 067-588-90-84, <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>

**Заліско Ігор Ігорович**, кандидат технічних наук, директор компанії "Виробничо-комерційна фірма Дрогобицький завод автокранів", lion677889@gmail.com.

**Анотація.** В статті розглянуто систему, що поєднує вплив статичних на динамічних навантажень на прикладі опорно-поворотного контуру автомобільного будівельного крану. Виявлено положення системи та її елементів з найбільшими навантаженнями, досліджений метод створення сталевих конструкцій, кожен елемент в залежності від середньої завантаження відчуває напружено-деформованого стану. Для побудови розрахункової математичної моделі навантаженого опорно-поворотного контуру були використанні основні закони теорії пружності та пластичності. Були складені рівняння руху із урахуванням поведінки конструктивних елементів та машини в цілому при одночасній дії різноманітних навантажень. Розрахункова схема приймалася у вигляді конструкції, що складається із стержнів жорстко з'єднаних між собою у вузлах. Для кожного стержня даний переріз приведений з геометричними характеристиками. У якості методу розрахунку застосовано метод скінченних елементів з визначенням переміщень (деформації), зусиль (напружень) у вузлах сітки конструктивних елементів конструкції опорно-поворотного контуру. Було отримано розподіл напружень в кожному елементі конструкції в залежності від виду навантаження. Цей розподіл дозволив вибрати раціональні параметри конструкції в кожному її перетині. Запропонований підхід дозволив створити рівномірну конструкцію, що забезпечує надійність та економію матеріалу. Таким чином отримані результати дозволили в повній мірі проаналізувати та прийняти рішення щодо одночасного забезпечення міцності, жорсткості і мінімальної матеріаломісткості конструкції.

**Ключові слова:** моделювання, машина, напружено-деформований стан металевих конструкцій, діагностичні системи, опорно-поворотний контур, динамічне навантаження.

**Перелік посилань**

1. Назаренко І.І. Застосування теорії вібраційних систем (друге видання). К. : Видавництво «Слово». 2010 - 440 с.
2. Назаренко І.І. Основи проектування та конструкції машин та обладнання переробних виробництв / І.І. Назаренко, І.М.Берник // - К. : ТОВ "Аграр Медіа Груп", 2013. - 544 с.
3. Назаренко І.І. Вібраційні машини та процеси будівельної галузі: - К. : КНУКА, 2007. - 203 с.
4. Заліско І.І. Вивчення впливу технологічних факторів на довговічність опорної рами / І.І. Заліско // Гірські, будівельні, дорожні, меліоративні машини - К.: КНУБА, 2012. - №80. - С. 44 - 88.
5. Дедов О.П. / Математична модель та визначення параметрів ущільнювачів руху для ущільнення ґрунту. / О.П.Дедов // Гірські, будівельні, дорожні, меліоративні машини. № 66, Київ, 2006, С.41-46.
6. Кузьмінець М.П. Оцінка надійності результатів чисельного моделювання напруженого стану металевих конструкцій комутаційних машин для ущільнення ґрунту під трубопроводом. : ПДАБА. Випуск No 46. Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини та обладнання. 2008.- С. 84-91.

PERSONNEL MANAGEMENT OF CONSTRUCTION ENTERPRISES

УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ



**Grechan A.P.**, Doctor of Economics, Professor, National Transport University, Professor of Economics, e-mail: grechan.ap@gmail.com, tel. +380674494014, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1.

<https://orcid.org/0000-0002-4067-4371>



**Yatsenko B.I.**, Candidate of Economic Sciences (Ph.D.), State University of Infrastructure and Technologies, Senior Lecturer of the Department of Transport Technologies, tel. 0939989850, Ukraine, 04071, Kyiv, vul. Kyrylivska, 9.

<https://orcid.org/0000-0001-7080-7254>



**Petrovich V.V.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +3804428027338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138.,

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>



**Usychenko O.**, 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>

**Abstract.** In the thesis features of personnel management in the construction industry. The conceptual framework of the system of personnel management of the building, which is based on enhancing the role of staff, compared with traditional methods of management in the domestic construction companies. Easy to assess the quality of staff building company from a position of the enterprise, based on the factorial-target approach, which is to allocate the defining problems of structural units that must be solved to achieve this goal, identification and evaluation of relevant key features of staff.

The quantitative relationship between the components of quality of construction personnel and construction of net income/

Assessment of quality of staff positions offered to investors by the criterion of «cost of personnel», which is defined as net sales of construction works, reduced by the amount of material costs and depreciation of fixed assets of the organisation.

The mechanism of stimulation of the construction workers, depending on the achieved level of quality of works. The complex of measures aimed at improving the «qualifying component» as staff of the construction industry.

**Keywords:** Personal Management, the construction, the quality of personnel, incentives, raising and qualifications.

**Formulation of the problem.** Staffing is a key point in evaluating of construction organization as a whole in terms of its ability to perform a certain type of work, the feasibility of investing, choosing a reliable partner and more. Indeed, the quality of performed work, the effectiveness of management decisions, and therefore the final results are depends on the qualification and experience of the organization personnel, the social and psychological climate in the team, the ingenuity of individual employees, etc.

**Analysis of recent publications.** The work of such outstanding scientists as S. Adams, M. Armstrong, V. Vrum, A. Maslow, M. Porter, T. Stevens, F. Whiteley, F. Herzberg, T. Yu. Bazarova, B.L.Eremina, A.Ya. Kibanova, S.I. Samigina, L.D. Stoliarenko, M.V. Kaymakova, N.P. Belyatsky. Some aspects of personnel activity management of the enterprises were also be considered by scientists of V.R. Vesnin, O.S. Vikhansky, O.I. Naumov, B.M. Ginkin, R.A. Fathutdinov, G.A. Dmitrenko, O.M. Kryvoruchko, D.P. Goddess, O.V. Volkova, O.P. Yehorshin, E.M. Kailuk, A.M. Kolot, O.V. Fedosova, V.M. Lich, V.G. Fedorenko, V.O. Pokolenko, N.P. Ivleva.

The available works do not take into account the construction specifics, which must be taken into account when solving the tasks of assessment, motivation, preparation, retraining and advanced training of personnel in the construction industry.

The main features of construction that affect the process of personnel and production management, include the following:

- the uniqueness of the vast majority construction sites, which determines the need for the development of new project documentation, and therefore organizational and technical solutions;
- the variety of construction work types;
- long life construction products cycle (may be more than 100 years) in combination with the need to ensure the construction objects operation safety throughout the cycle;
- assessment of the management decisions economic effectiveness is complicated by the considerable duration of construction projects (CP);
- the qualification of management personnel (at the stage of preparation and implementation) and production (in the process of construction works implementation) greatly affects the safety of the construction object further operation.
- Many stages of CP preparation, a large number of participants, combined with the complex process of workflow organization, which results in the complexity of determining the subject and the level of responsibility for ambiguous or wrong decisions.

The results of the conducted researches show that in the last decades there is a steady tendency to decreasing of construction works quality, widespread involvement of unskilled or low skilled workers in work performance, decrease of engineering and technical workers preparation quality.

Thus, the question of the existing methods, models, mechanisms of personnel management improving, taking into account the specifics of the features and current needs of the construction industry is relevant.

The purpose of the work is to improve the scientific and methodological bases of construction enterprises personnel management.

The main material.

Management, as a process of impact on the object, is realized through the application of various, purposeful, interrelated, mutually supportive measures, which are selected taking into account the basic management methods such as economic, administrative (organizational-administrative), social and psychological, and are implemented through the use of developed relevant mechanisms.

Therefore, personnel management is being considered as a process of the enterprise personnel influencing through the implementation of a set of interrelated measures, in order to achieve it such state that most effectively ensures the achievement of the goals that are set before the organization.

A set of indicators is characterized the condition of the staff. At some point in time they are recognizes its quality and the level of its functional duties fulfillment. An appropriate system is created for the implementation of personnel management functions in the organization.

Based on the analysis of existing approaches, the construction of a personnel management system (MS) can be represented as a system of dependent characteristics functions: the goals of the organization (G), the used methods of personnel management (Mt), the functions of personnel management (F) and the mechanisms of personnel management (Mx):

$$MS = \begin{cases} f_1(G_1 \dots G_n) = 0; \\ f_2(Mt_1 \dots Mt_n) = 0; \\ f_3(F_1 \dots F_n) = 0; \\ f_4(Mx_1 \dots Mx_n) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

The personnel management system of the construction company (Fig. 1) should take into account the peculiarities of the industry management:

- specialization of organizations in:
  - o stages of work (design, survey, construction);
  - o types of work (zero cycle, installation of the building frame, finishing, special, etc.);
  - o functions in the investment and construction process (investor, customer, contractor)
- strict technical regulation of all construction stages of the construction object;
- availability of a standardization framework, which contains the norms of labor losses for the execution of construction works: resource elementary estimated standards for construction, repair-construction and other works;
- reduction in the volume of construction groundwork, which leads to significant breaks in the construction organizations workload;
- high level of injury and occupational morbidity.

Generalization of the main tendencies of construction industry development in Ukraine indicates that one of the the construction industry main problems is the low quality of construction work, due, in particular, to the shortage of highly skilled management, engineering and labor personnel. Subjects of construction activity need to develop effective methods of personnel assessment and appropriate incentive mechanisms, retention of highly qualified personnel within the enterprise.

The purpose and methods of the organization personnel assessment depend on the subjects needs that interested in such assessment in the construction:

- the construction organization itself;
- the customer of construction products;
- an investor who invests in order to profit from the construction organization entrepreneurial activity;
- an investor who invests at the stage of construction and, upon completion of construction, receives a profit from the construction object.

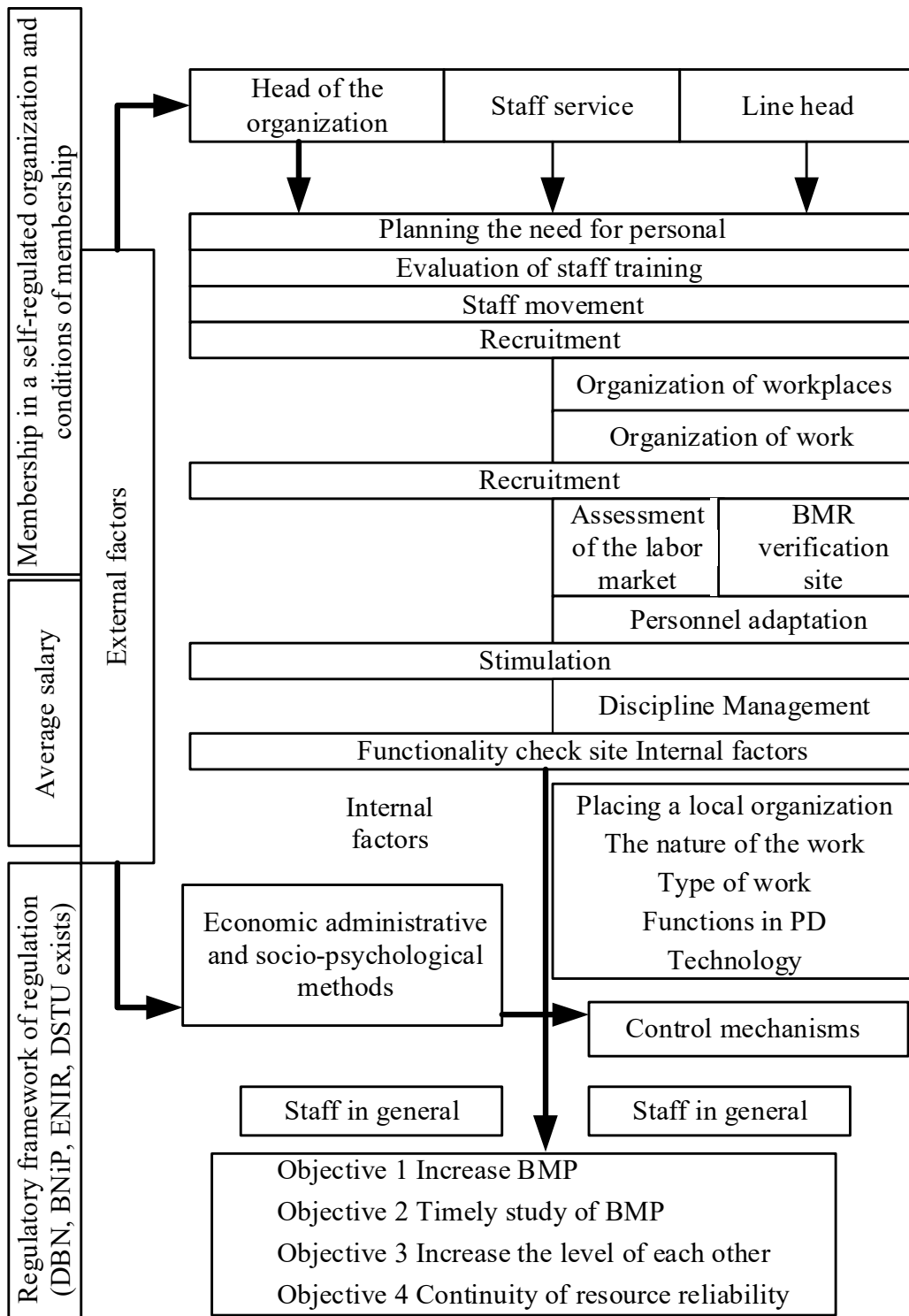


Figure 1 – Personnel management system of road construction management  
Рисунок 1 – Система управління персоналом дорожньо-будівельного управління

The assessment of personnel is divided into internal, which is performed by the construction organization itself and external, performed by interested contractors.

In accordance with international quality management standards (ISO 9001), quality is the degree to which a set of intrinsic characteristics meets the requirements.

The above definition allows us to conclude that at first, quality must be quantified, since it is a degree of requirements satisfaction. Secondly, it is necessary to have a certain set of characteristics (parameters) of the object, which will evaluate its quality (in our case, the quality of personnel). Thirdly, the quality assessment depends on the list and the level of the subject requirements.

The list and level of requirements for the assessment subject depend on the assessment subject and its purpose. Depending on the purpose, different subjects will be prioritized for different entities in assessing the quality of construction organization personnel. Ensuring the right quality of products is a prerequisite for the enterprise competitiveness, which is also important for the investor.

The following characteristics can be used to evaluate the quality of construction organization personnel:

- skill level (Sl). This characteristic includes such elements as level of education, experience (seniority) of work, worker discharge, category of engineering and technical workers, a certificate from a responsible executor presence, a scientific degree or academic degree presence, possession of an employee of related professions, etc.;

- readiness and commitment to training, advanced training (T)

- employee's age (A);

- health status (H);

- innovation (I) (adequate perception of innovation);

- labor productivity (LP) - output;

- array of individual psychological and physiological characteristics (Ph), the set of which may vary depending on the specific requirements of the profession or position occupied by the employee (communication skills, perseverance, ability to work "in the press", attentiveness, meticulousness, presence of leadership qualities, commercial talent career growth).

Thus, a generalized staff quality index (Qp) can be represented as a function:

$$Q_p = F(Sl, T, A, H, I, LP, Ph) . \quad (2)$$

Obviously, it is necessary to distinguish between the quality of the construction organization personnel as a whole and the quality of a particular category of workers, as well as the quality of an individual worker.

To determine the level of personnel quality, it is necessary to give value to each of the given characteristics and to compare with a certain standard. It can be predicted that the sum of the separate scores for each characteristic will give an overall estimate of the quality of the staff. The developed appropriate scale summary scores can be transformed into understandable verbal. The quality of the staff can be categorized as unsatisfactory, satisfactory and excellent.

Based on the results of the staff quality assessment, decisions regarding the need for employee training, upgrading, transfer to another position should be made and measures to motivate staff and the appropriateness of their work in the organization should be developed.

For the customer and the investor the assessment of the personnel qualification level of the construction organization with the important from the point of view of its ability to provide high-quality and timely execution of construction works. For this purpose, as a rule, as part of the competitive bidding proposal, the contractor must provide the customer with information on ensuring the organization with management, engineering and technical staff, work experience, the conformity coefficient of the workers average grade to the average category of object works. Information indicating the qualification of the staff may also include the feedback of previous customers on the quality of the work performed.

The empowerment of the customer (investor) in carrying out the assessment of the contracting organization personnel qualification level can be ensured through the system of industry employees personal certification. In Ukraine, the current legislation provides for certification of responsible contractors for certain types of work (services) related to the creation of an architectural object (architects, design engineers, technical engineers and experts). Unfortunately, other employees of the industry, including chief engineers and superintendents, are not subject to the system of personal certification, which reduces the level of personal responsibility in the construction works execution/

A personal certification system can be both mandatory and voluntary and it is an effective means of furthering and assessing, as worldwide experience has shown,

It is determined that depending on the aim of the quality assessment of the staff a set of specific characteristics that make up the concept of "quality" depends on. Thus, guided by the purpose of the evaluation, it is possible to reduce the list of characteristics to be evaluated.

The main factors influencing the quality of construct works are: quality and timeliness of building materials, products, structures supply; providing workers with quality tools and controls; appropriate qualification of workers, foreman and master; their interest in quality work; careful implementation of intermediate and final controls; quality of production planned tasks. The relationship between the functions of the structural units of the building company and the factors they provide are presents in Figure 2

For each structural unit function the key characteristics that the personnel of this unit should have for the best implementation, which directly affect the quality of the construct works are highlighted (Table 1).

Features are divided into two groups - common to all units and specific, which are divided into objective and subjective. Objectives are evaluated on the basis of concrete work results, on indicators. Subjective characteristics are assessed by unit managers based on personal experience of communicating with specific employees, not documented statistics on their behavior.

Each subjective and objective criterion is assigned a weighting factor and a rating scale is proposed. Weighting factors for determining common characteristics for workers and engineering staff are different.

In order to simplify the expert evaluation, it is suggested to use the apparatus of fuzzy mathematical logic. One of the basic tenets of the theory of fuzzy sets is to remove the clear distinction between belonging (value 1) and non-belonging (value 0) of elements to a set. The attribution of element X to set A is described by values that lie in the interval between 0 and 1, and linguistic variables can be used to describe these values. For example, a subjective characterization of staff, such as an interest in quality work, can be described not only as "high interest" or "lack of interest", but also "low interest", "average interest". The value of a linguistic variable is coordinated with a corresponding scale in points: for example, "lack of interest" - 0 points, "low interest" - 3 points, "average interest" - 5 points, "high interest" - 10 points.

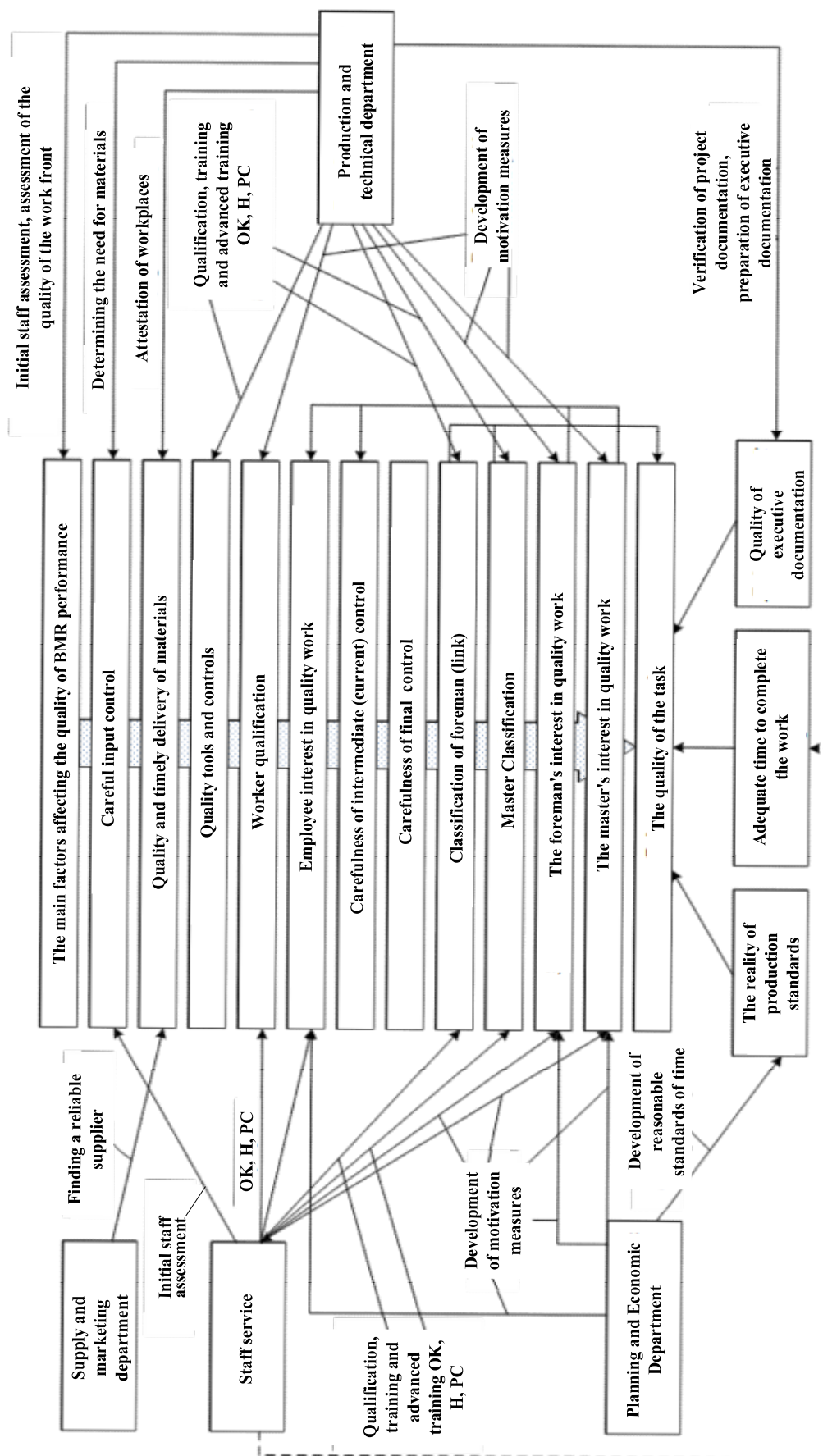


Fig. 2. Relationship between the main factors that directly affect the quality of the construction works and the functions of the units of the road-construction organization that ensure their implementation

Рис. 2. Взаємозв'язок основних факторів, що безпосередньо впливають на якість БРМ, та функцій підрозділів дорожньо-будівельної організації, що забезпечують їх реалізацію

Estimates in fuzzy logic theory are interpreted as an accessories function. An expert or decision maker determines the value of accessories function.

Suppose that  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} = \{a_j, j = \overline{1, n}\}$  is the set of employees to be evaluated;

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$  is the set of subjective criteria that characterize these workers, where -  $k_1$  is interest in high quality work;  $k_2$  - honesty (level of trust in the employee);  $k_3$  - stress resistance;  $k_4$  - the desire for development.

According to the results of the assessment, it is considered appropriate to introduce adequate measures to encourage employees to achieve this goal.

In order to ensure the quality of the construct work performance, we will offer a mechanism of incentives for construction organization employees, taking into account their results (Fig. 3). This mechanism is based on a systematic assessment of personnel quality by the criterion "Quality of construction work performance and monthly assessment of functional responsibilities performance by each individual employee and the unit as a whole".

Based on the results of the staff quality assessment, which is proposed to be conducted once every half year, tariff rates, salaries, unit rates are set and adjusted, and thus the level of basic salary is determined for the next half year. Based on the results of the individual assessment, for the technical workers, coefficients of labor participation (KLP) are established, on the basis of which the supplementary payroll of the unit is distributed. The total additional salary fund for the units and the workers individual labor participation rate is determined by the results of the functional duties fulfillment level assessing (on a monthly quantitative indicators basis). Such mechanism ensures transparency in the principles of the distribution of material remuneration and incentives for employees, which should increase their level of diligence and responsibility.

According to the year results, the final assessment of each employee in points (which are accumulated annually) is determined. We propose to establish an incentive system based on cumulative rating accumulated over 1, 3, 5, 7 and 10 years. The cumulative principle of the proposed mechanism will facilitate the growth of the most experienced, responsible and skilled workers in organizing the employment potential.

A quantitative correlation between the constituent qualities of the construction organization's staff and income is established according to the research.

Based on statistics on the construction organizations activities, we have developed a regression model of the net income dependence on the production, structure of personnel by age, qualification, intensity of training and improvement of staff qualification in the past years.

It is proposed to use the indicator "cost of personnel", As a criterion for assessing the quality of personnel from the investor's point of view. It is defined as the net income / sales, reduced by the amount of material costs and depreciation of fixed assets of the enterprise, the indicator - characterizing the value contribution of staff at all levels in the organization's income.

Measures have been developed to improve the "qualification component of staff quality" in construction industry in Ukraine, in particular, involving the joint efforts of self-regulatory organizations (CO) members (Fig. 4).

**ЕКОНОМІКА; ОБЛІК І ОПОДАТКУВАННЯ; МЕНЕДЖМЕНТ; МАРКЕТИНГ;  
ПІДПРИЄМНИЦТВО, ТОРГІВЛЯ ТА БІРЖОВА ДІЯЛЬНІСТЬ**

Table 1 – Assessment of the quality of construction organization personnel to ensure the construction work implementation

Таблиця 1 – Оцінка якості персоналу дорожньо-будівельної організації для забезпечення виконання БМР

Structural subdivision	Subdivision function, which affects the quality of the construction work performance	Key personnel characteristics that most affect the quality of the unit's production	Assessment method	Indicator	Criterion score	Score
1	2	3	4	5	6	7
<b>Загальні для всіх підрозділів і працівників</b>						
		<u>Objective:</u> Qualification incl. education Experience Health Use of working time  <u>Subjective:</u> Interest in quality work Honesty Stress resistance Striving for development	According to the indicators         Testing   Expert evaluation of the unit head *	Discharge (for workers) Work experience Experience of similar work Category (for professional) Degree Sick leave share Unproductive used time share		From 1 to 8 0 to 5 0 to 5 1 to 4  0 to 2 0 to 4  0 to 4  0 to 8  0 to 5 0 to 5 0 to 5
				<b>E</b>	<b>0,5</b>	
Staffing Service	Recruitment (dismissal) of staff; Assessment of qualifications; Organization of training and advanced training, participation in the production program of the construction program	<u>Objective:</u> knowledge of the regulatory framework, knowledge of staff assessment methods  <u>Subjective:</u> Communicative; Organizational skills	Expert evaluation of the unit head *  According to the work results	Staff turnover Percentage of employees who have received training or advanced training The overall quality level of the organization's staff		0 to 5  0 to 5  0 to 5 0 to 5  0 to 5 0 to 5 0 to 10
				<b>E</b>	<b>0,5</b>	
Supply and marketing department Objective: Subjective:	Supply of quality materials, raw materials, structures, fuel, etc. in a given period	<u>Objective:</u> Knowledge of material properties; Supplier Market Knowledge  <u>Subjective:</u> Communicative; Commercial talent	Expert evaluation of the unit head *    According to the work results	The share of complaints,% of total delivery		0 to 5  0 to 5  0 to 5 0 to 5  0 to 5
				<b>E</b>	<b>0,5</b>	

Continued table 1

Characterized by individual units						
Planning and economics department	Production of development program; Rationing of labor; Rationale for wages, bonuses	<i>Objective:</i> Knowledge of the normative base of the labor economy  <i>Subjective:</i> Creative approach to work	Expert evaluation of the unit head *			0 to 5  0 to 5 0 to 5
				<i>E</i>	<b>0,5</b>	
Production and Technical Department	Proposals to determine the need for workers, their characteristics; Participation in the assessment of workers' skills; Organization of training and advanced training in production; Participation in the development of approaches to employee motivation	<i>Subjective:</i> Leadership abilities; Organizational abilities; Ability to work in a team; Ability to work "under the press"	Expert evaluation of the unit head *			0 to 5  0 to 5 0 to 5 0 to 5
			According to the work results			0 to 5
				<i>E</i>	<b>0,5</b>	
Brigade - Brigadier, workers	Construction work implementation Subjective: Absence of bad habits Team Leadership Expertise *  According to the results of work	<i>Subjective:</i> Absence of bad habits Ability to work as a team	Expert evaluation of the unit head *			0 to 5  0 to 5 0 to 5
			According to the work results			0 to 5
				<i>E</i>	<b>0,5</b>	

### Conclusions

1. The global trends in the development of construction are; increasing requirements for the quality of construction work, reducing the professional qualification of a large proportion of construction workers, the lack of highly qualified engineering and technical staff, the widespread temporary staffing system for the implementation of the project, increasing the share of construction projects in the projects that are being implemented difficult conditions, which leads to a decrease in labor productivity of workers, requires high skills, increases the level of responsibility for the wrong organizational and technical decisions. The peculiarities of personnel management in the construction industry and the above development trends necessitate the improvement of existing personnel management mechanisms in construction.

2. Effective resolution of these problems requires that the personnel management system of the construction organization is built on an increase of the personnel service role. The head of staff in the construction organization structure must have the same level of authority as the deputy director of finance and production.

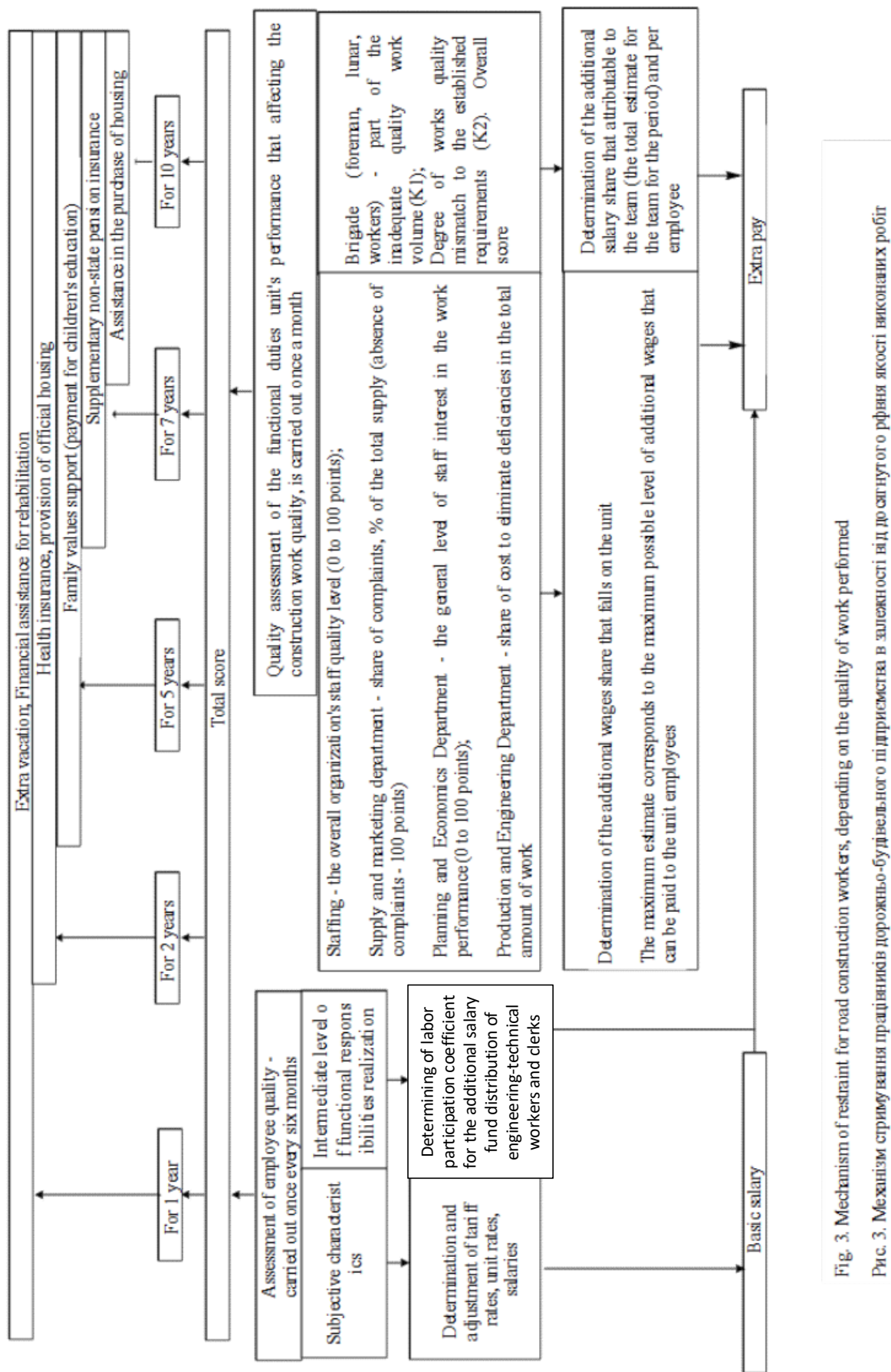


Fig. 3. Mechanism of restraint for road construction workers, depending on the quality of work performed

Рис. 3. Механізм стримування працівників дорожньо-будівельного підприємства в залежності від досягнутого рівня якості виконаних робіт

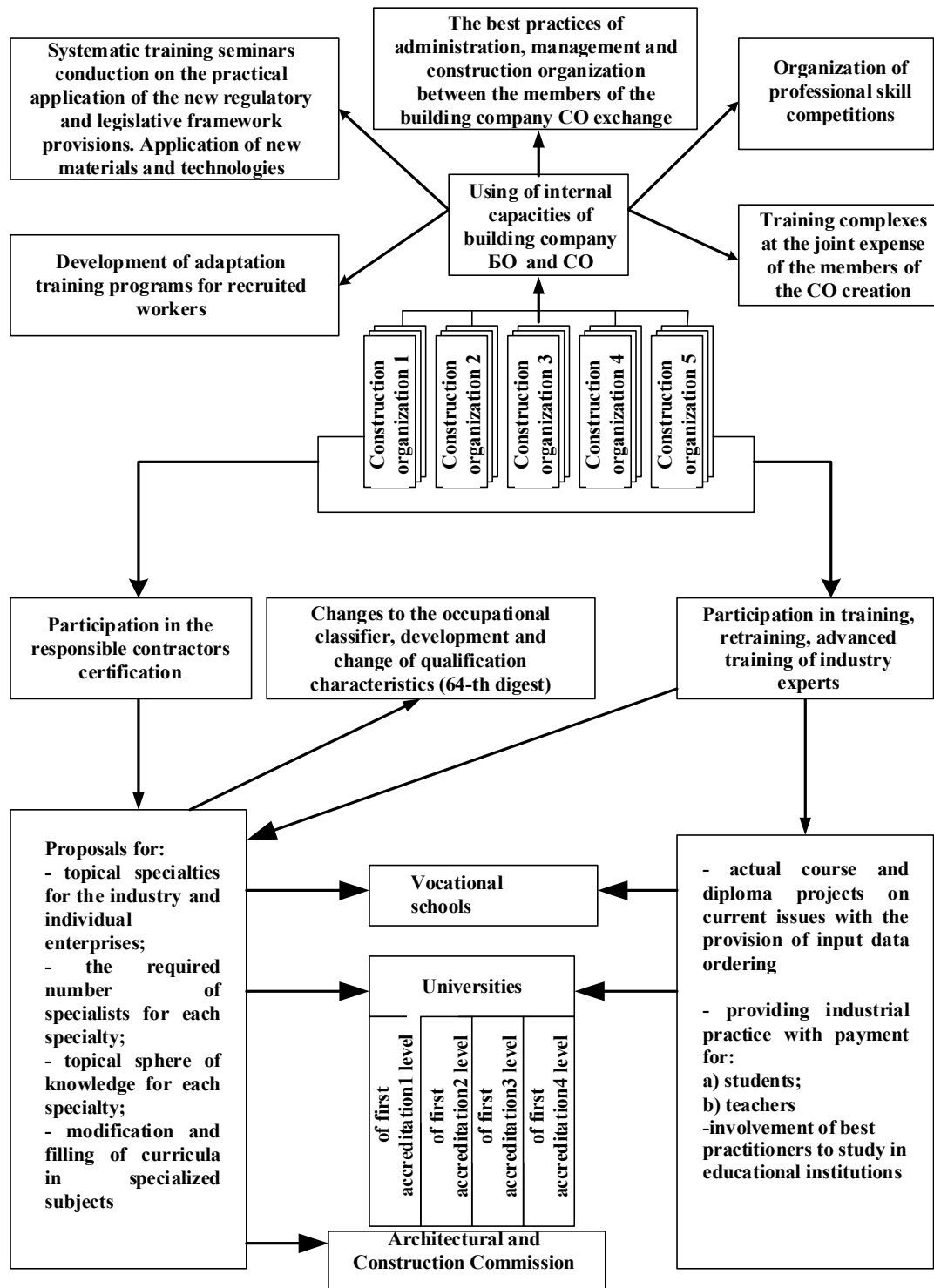


Figure 4 – Measures have been developed to improve the "qualification component of staff quality" in the road construction industry of Ukraine with the involvement of self-regulatory organizations (SO) members joint efforts

Рисунок 4 – Розроблені заходи щодо підвищення «кваліфікаційної складової якості персоналу» в дорожньо-будівельній галузі України з залученням спільних зусиль членів саморегулюючих організацій (СО)

3. The modern interpretation of the personnel management concept in construction is defined. It is the process of applying a set of interconnected activities to help staff achieve the necessary state to maximize the effectiveness of the construction organization's goals.

4. It is clear that the staff condition is determined by a set of indicators that would be able to determine the staff quality and the level of their functional responsibility fulfillment. A new set of characteristics is proposed to assess the quality of construction organization personnel. It includes: qualification level, ability and willingness to study or advanced training, employee's age, health status, tendency to innovate, productivity, individual psychological and physiological characteristics, the recruitment of which may vary depending on the specific requirements of the profession or position, which occupied by an employee.

5. The authors found that a prerequisite for the staff quality level assessment is to determine the purpose of the organization for the implementation of which staff is evaluated. The set of staff characteristics and their rank in the overall staff assessment should depend on the purpose of the organization. With this aim, a system of construction company personnel quality assessment for the needs of the enterprise itself is proposed. It is based on a factor-based approach and provides for the identification of structural units that ensure the achievement of the goal (quality, timely execution of construction works, profitability of activity, uniform load of resources) tasks, definition of staff influential characteristics. The implementation of the proposed approach to assessing the construction organization staff quality contributes to the effectiveness of the organization, and, in particular, to improve organizational relationships.

6. The proposed mechanism of employee incentives, taking into account the personal results achieved, contributes to increasing the level of interest in achieving the organization goal, and maintain its highly skilled labor potential.

7. According to the results of the calculations, a quantitative link between the constituents of the "quality of construction organization staff" and the net income of the construction organization was established. It can be used to analyze the internal reserves of the organization with the place of increasing its efficiency.

8. It is proposed to assess the personnel quality from the investor's point of view by the criterion of "personnel cost". It is defined as the net income from the construction and assembly works realization, reduced by the amount of material costs and depreciation of the organization fixed assets. This indicator characterizes the value of staff contribution at all levels in the organization's income.

9. Developed measures of the "qualification component of the personnel quality" of the construction industry improving, are based on the joint efforts of the investment construction process subjects. They help to improve the construction products quality while reducing the costs of building organizations to improve the employees skills.

#### **References**

1. Taryfna systema oplaty pratsi ta yiyi efektyvnist'. Ekonomika: problemy teorii ta praktyk): : zb. nauk. pr. Dnipropetrovs'k : DNU, 2007. - Vyp. 225, t. 11 -S. 535-541.

2. 18 Pytannya normuvannya pratsi v budivnytstvi // Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn : zb. nauk. pp. K : KNUBA. 2011. Vyp. 24. - S. 164-169.

3. Slipenchuk H.V. Sutnist' zarobitnoyi platti yak ekonomichnoyi katehoriyi v systemi rynkovykh rozpodil'nykh // Materialy VII Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 26 lystom. 2008 r. - K : IVTS Vydavnytstvo «Politekhnika», 2016- 259s.

4. Slipenchuk H.V. Rozvytok systemy otsinky rivnya kvalifikatsiyi personalu budivel'nykh orhanyzatsiy v Ukraini // Materialy II Vseukr nauk.- prakt. konf. stud. ta molodykh vchenykh «Suchasni problemy mizhnarodnoyi ekonomiky». Dnipropetrovs'k. 2017. - S. 108-110.

5. Slipenchuk H.V. Pytannya sertyfikatsiyi personalu v budivnytstvi . Tezy dopovidey Nauk. konf. molodykh vchenykh, asp. i stud.: v 2-kh ch K.: KNUBA. 2016h CH. 2. - S. 62-63.

**УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**Гречан Алла Павлівна**, доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри економіки, e-mail: grechan.ap@gmail.com, тел. +380674494014, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омельяновича-Павленка, 1., <https://orcid.org/0000-0002-4067-4371>

**Яценко Богдан Ігорович**, кандидат економічних наук, Державний університет інфраструктури транспорту, super\_inna@ukr.net, tel. 0939989850, Україна, 04071, Київ, вул. Кирилівська, 9. <https://orcid.org/0000-0001-7080-7254>

**Петрович Володимир Васильович**, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +3804428027338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

**Усиченко Олена Юрївна**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, [fbbk@ukr.net](mailto:fbbk@ukr.net), тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

В роботі розглянуто особливості управління персоналом в будівельній галузі. Запропоновані концептуальні засади побудови системи управління персоналом будівельної організації, в основі якої покладено підвищення ролі служби персоналу. Вдосконалений механізм оцінки якості персоналу будівельною підприємства з позиції самого підприємства, заснований на факторно-цільовому підході, що полягає у виділенні визначальних задач структурних підрозділів, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, визначення та оцінки відповідних ключових характеристик персоналу.

Встановлено кількісний зв'язок між складовими якості персоналу будівельної організації та чистим доходом будівельної організації.

Оцінку якості персоналу з позиції інвестора здійснювати за критерієм «вартість персоналу, який визначається як чистий дохід реалізації будівельно-монтажних робіт, зменшений ми величиною матеріальних витрат та амортизації основних фондів організації».

Розроблений механізм стимулювання працівників будівельної організації в залежності від досягнутого рівня якості виконаних робіт. Запропонований комплекс заходів, що спрямовані на підвищення «кваліфікаційної складової» якості персоналу будівельної галузі.

**Ключові слова:** управління персоналом, будівництво, якість персоналу, стимулювання, підвищення кваліфікації.

**Перелік посилань**

1. Тарифна система оплати праці та її ефективність. Економіка: проблеми теорії та практик): : зб. наук. пр. Дніпропетровськ : ДНУ, 2007. - Вип. 225, т. 11 -С. 535-541.
2. 18 Питання нормування праці в будівництві // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин» : зб. наук. пр. К : КНУБА. 2011. Вип. 24. - С. 164-169.
3. Сліпенчук Г.В. Сутність заробітної платі як економічної категорії в системі ринкових розподільних // Матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., 26 листом. 2008 р. - К : ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2016- 259с.
4. Сліпенчук Г.В. Розвиток системи оцінки рівня кваліфікації персоналу будівельних організацій в Україні // Матеріали II Всеукр наук.- практи. конф. студ. та молодих вчених «Сучасні проблеми міжнародної економіки». Дніпропетровськ. 2017. - С. 108-110.
5. Сліпенчук Г.В. Питання сертифікації персоналу в будівництві . Тези доповідей Наук. конф. молодих вчених, асп. і студ.: в 2-х ч К.: КНУБА. 2016, Ч. 2. - С. 62-63.

INFLUENCE OF REQUIREMENTS IN AUTOMOTIVE ROADS AND THEIR STATUS  
ON THE ESTIMATION OF PROPERTY VALUATION CHARACTERISTICS

ВПЛИВ ПОТРЕБИ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ТА ЇХ СТАНУ НА ОЦІНКУ  
МАЙНОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК



*Lykhostup M., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University*

<https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>

**Abstract.** Features of the structure of the road economy, as part of the country's economy, affect the creation of a systematic methodology for assessing its property, when individual components will determine the peculiarities of the use and development of road infrastructure. To this end, for the purpose of assessing the property status of highways, which are the main component of the road economy, it is recommended to develop different models of approach to the definition of property valuation of highways.

In the article the directions and models of estimation of the property condition of highways are offered, with the use of different concepts of determining their needs in the infrastructure of the region's economy and the need to maintain them in the proper operating condition. The combination of needs and the state of highways is used as a conceptual criterion for the formation of models for their evaluation as property in the structure of the region's economy. According to this criterion, a road is considered as an object which:

*A* - provides social and administrative needs for the organization of motor transport in the region and the implementation of passenger transportation;

*B* - can make a profit as a result of its use;

*C* - is a part of the main productive assets of the region and the state as a whole, which should be maintained in good condition;

*D* - a national economic object of a specific purpose, which is used to provide activities of individual sectors of the economy.

The proposed structural classification of highways according to the conceptual criterion of their needs and conditions - *A*, *B*, *C* and *D* - is the basis for the formation of different models for assessing their property status, the peculiarities of which are discussed in the article. The main principle of such a classification of motor roads and transport facilities in general for the purpose of their property assessment is that they are considered as objects or sub-entities in the models of calculating the property of owners or users of transport facilities.

**Keywords:** need for roads, road condition, conceptual criterion, model of estimation, property.

**Presenting main material**

The property of the road economy is formed by a complex infrastructure of elements for different purposes, for example, roads - objects of operational nature, production enterprises (factories) - elements of the system for ensuring the implementation of labor processes products, machines and mechanisms - these are steel parts of the main production assets of enterprises, and so on. Therefore, the creation of a single methodology for assessing the state of the property of the road economy appears not only as a complex, but also labor-consuming task. Obviously, there is a need to create a systematic methodology for assessing the property of a road economy, the individual structural elements of which (subsystems) will reproduce the features and nature of the development of a particular component of the road economy.

In the process of assessing the property status of the main element of the road economy - roads - should use the conceptual criteria that form the approaches to the goal of such an assessment. In this case, the motorway is considered as an object that provides certain needs (criteria), that is, an automobile road is regarded as an object which:

A - provides social and administrative needs for the organization of motor transport in the region and the implementation of passenger transportation;

B - can make a profit as a result of its use;

B - is part of the main productive assets of the region and the state as a whole, which should be maintained in good condition for the purpose of widespread use in the national economy and the provision of vital activity in the region;

G - is a national economic object of a certain purpose, which is used to provide activity of individual branches of the national economy.

The directions of the use of highways are given and form different models of property status assessment, since the criteria and limitations used in determining the needs, the assessment of the state and volume of road maintenance of roads in accordance with the directions of the status of roads (A, B, B and D) should be taken into account in these models. In terms of system analysis are the relationship between these models: model B is focused on obtaining resources for maintenance in a proper condition of the property - roads and transport structures on them, model C evaluates the state of this property, model D - determines the directions of improvement of the state of roads for account of the implementation of complexes of construction works and repair and restoration measures, model A - focused on the definition and assessment of the needs of property (roads), taking into account current and future conditions development of a particular region.

The development of the model A of the property state of roads is formed under conditions determined in the process of solving certain engineering and economic problems, such as the task of forming rational routes (transport corridors) or reproduced in models of the region's development. Thus, models for the formation of rational routes (or rational networks of roads or the model for determining short distances of vehicles) have one characteristic feature - it is obtaining data on the expediency of operating an existing or the need to design a new road that would meet the purpose of the problem - set of shortest routes, a minimum the cost of transportation of goods and passengers.

The ideas of the rational development of the networks of roads in the structure of the national economy of the country or the administrative district have always been the subject of theoretical research and practical direction of the activity of individual scientists of the road industry, as well as of entire scientific groups of the relevant branch services, educational establishments and research institutes. In scientific developments and in the practical results that have been achieved in this respect, it is possible to identify several areas in the development of road networks.

The first direction of the development of the network of roads is marked by its physical modeling, when each component of the road is considered as an engineering structure that combines settlements in the structure of the overall system of transport links in the region. In essence, such models use fairly simple optimization approaches aimed at minimizing construction and repairs and reducing losses, both from traffic flows and from negative impacts on the external environment. The most characteristic development of such a principle of modeling the development of the network of roads comes from 1955 to 1985, for example [1,2], which is a characteristic feature of the time of economic development of countries. One of the groups of such models involves the creation in general terms of an "economic and mathematical model of optimization of an integrated transport network", which combines the ideas of the development of all types of transport, and the role of connecting elements of communication is assigned to highways. The rational length of the network of roads of the region in the enlarged form is determined by a simple equation, which uses such parameters as population size, area of the territory, gross volume of agricultural products.

But such simple approximation approaches to the development of the transport network were very simple to determine a truly well-founded network of roads. Therefore, the creation of optimization models for

determining the rational configuration of the network of highways was more viable and practically feasible. In these models, considerable attention is paid to the study of the minimum value of road transport costs with careful study of the processes of formation of relations between the main parameters that influence the development of the network of roads, as the length of the route between the correspondent points  $i$  and  $j$ , the volume of freight between points  $i$  and  $j$ , road expenses, which ensure the transportation of goods at the site  $ij$ , transport costs in the same direction, the average speed of transport of vehicles.

The development of mathematical optimization models uses a number of complementary approaches, which, for example, include the use of a system for determining the best transport connection in the regional network, determining the impact of transport on the environment. In turn, solving such auxiliary tasks in global optimization models caused the conduct of such studies, such as, for example, the definition of the system of additional connections in the transport network, the definition of rational adjacency of congresses on main roads, etc.

The second direction is based on the theory of development of variants of work on the network of roads in order to improve both the structure of the network itself and the quality of its transport status, based on the use of models of rational use of capital investments in order to improve their technical level. At the same time, as the main indicator, which determines the best option for the implementation of work, the value of total deductible costs and the profit growth rate, the use of which uses information about the work of transport and the dynamics of work on the merely roads. In recent studies, the use of reduced costs has been expanded to a large number of parameters that are taken into account in models for assessing variants of the development of the network of roads, including the costs of developing competitive types of transport - railways, water transport.

The third direction of the development of the network of roads is based on the use of economic and then socio-economic models. In most of these models, the road is regarded as an element of the general transport system whose task is to organize the reliable transportation of goods and passengers by road. On the other hand, the road is considered as an element of the infrastructure of economic relations between the main functional types of activities that can be developed in the region and satisfies all social needs of the population, including individual residents.

The best example of such models is the implementation of special projects by a consulting firm with a road profile (PM-Consult - Germany, GeoConsult - Austria), which consists in identifying long-term programs of road works in the system of development of the national economy of the region. In general, the idea of a better combination of economic, social and technological and resource opportunities in the development of regional road networks is constantly improving and continues to be used at the level of organization of the work of administrative structures, as evidenced by the activities of the special 15th section of the World Road Congress - PIARC.

The formation of models of the development of the network of roads on the basis of ensuring all the requirements of individual residents for transport connections throughout the year, as a rule, is aimed at developing a local network of roads. In this case, options for the potential development of individual families that can use the appropriate network of roads on the train of their lives are considered. In such models literally there is a simulation of the behavior of individual family members, their labor activities, the development of their own interests, implemented with the use of transport services. The above directions of the formation of the need for highways in certain regions of the country can be taken into account when creating models for assessing their property according to different criteria.

In models of type B the road is considered as the object of obtaining profit from its use. The most widespread forms of development of such models are the development of so-called concession programs and the formation of programs of payment for travel on the roads of a certain destination and certain groups of vehicles. The second direction is considered as more realistic as it is dynamically developing in many countries of the world.

So in 2011-2012, Kapsch Traffic COM AG, in support of the European Integration Program of Ukraine in the Trans-European Transport Network, carried out work on the creation of an electronic payment project for transporting certain groups of transport vehicles by motor roads of specified categories. During the company's cooperation with the employees of Ukravtodor, a concept for the implementation of the electronic payment for travel through 2014 was created. Thus, projects have been created to determine the technical equipment of this system, defined fees for the payment of the train, conditions and plan for organizing work on collection of funds, forms of control and accounting of the work of the system, and so on. But this project has not been realized and is at a stage of possible development.

Conceptual position of the model of payment for transportation of vehicles consists in the formation and solving of such an equation:

$$\Pi = (N_{ij} \times F_i \times T_j) - (BT + PV), \quad (1)$$

where  $\Pi$  - the desired profit from the work of the electronic payment system for road transport, UAH / year;

$i$  - number of groups of vehicles,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$j$  - number of types of payment terminals for fare,  $j = 1, 2, \dots, m$ .

$BT$  - primary expenses for the project realization (creation of terminals of account, control service and account of expenses, expenses for technical devices of cars, expenses for installation and maintenance of cash registers and other measures of technical and organizational nature), UAH;

$PV$  - current expenses for servicing the electronic system of organization and automatic accounting for payment for road transport (maintenance of software, expenses for communication services, current repair and restoration work of equipment) and other costs, which are determined by the method of expert analysis of the work of such systems, UAH;

$N_{ij}$  - is the intensity of traffic of vehicles of the type whose fare on the road should be paid to the  $j$ -terminal;

$F_i$  - fare for car and other types of vehicles;

$T_j$  - is the number of  $j$  - th type terminals.

Of course, model (1) is presented in a generalized form, since it lacks the time factor, the coefficient of traffic growth, the parameter of inflation and other parameters that can develop the model. But in this model there is essentially one parameter that regulates and evaluates the efficiency of this model - this is the value of the fare - and this parameter is determined in the process of solving the model (1) at the given value of  $\Pi$ . In turn, the value of  $\Pi$  (the meaning of the implementation of the system fare) can be set in the range of 15 - 20% of the total value ( $BT + PV$ ).

In type C models, the road and its associated transport facilities are considered as part of the main productive assets of the region and the state as a whole. The state of highways and their transport facilities determines the volume of certain road construction works and repair and restoration measures, the totality of which determines the general needs for financial resources and determines the residual value of the object. Determination of the residual value of the objects of the road economy is formed on the basis of the following principles:

- each and every element of the road ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) or  $s$  - and the transport structure ( $s = 1, 2, \dots, S$ ) has its initial cost, which was fixed at the cost of execution works on its creation or was determined by the rules of the market price - respectively  $V_{oi}$  or  $V_{os}$ ;

- each element of the road or its related transport facilities has certain service life, that is, the terms of validity in terms of their suitability for use - respectively,  $T_{oi}$  or  $T_{os}$ . These terms of service are best defined using the advanced expert appraisal method, since the use of so-called degradation models for most elements and transport constructions is seen as a virtually impossible approach. The research carried out in this way on previous stages of the implementation of the scientific works [3] made it possible to compile tables of terms of service of elements of roads and transport constructions.

- at the time of evaluation of property - the residual value of an element of roads and structures - each element is on a certain period of service (**a**: this term has not yet come, **b**: just ended, **c**: already passed);

- for each item and transport structure that are components of a particular object, the possibilities of road construction works or repair and restoration measures performed to improve their condition are considered and fixed costs of their implementation. Possible fixing of different options for carrying out works and repairs - *I*: were carried out in different situations of fixing the service life of elements of roads or transport facilities - *a: b: c*; 2 - work and measures were not implemented- using existing methods of estimating the residual value of the main production facilities of the road economy, the residual values of each element or transport structure are calculated - respectively *Zoi* or *Zos*;

- the total residual value of the object as part of the property of the road economy is defined as the sum of the residual value of each element or transport facility - *Zoi* or *Zoi*.

Obtained values of the total residual value of the object (part of the property) are used to solve various practical tasks related to the formation of the resource supply system of the object necessary for its maintenance in the proper operating condition, the formation of the accounting and reporting system and other tasks .

Models of type *D* are focused on the decision of tasks of planning of resource provision of property objects in order to provide activity of certain branches of the national economy. Models of resource planning for maintenance processes in the normal operating status of distributed objects in Europe should include the model HDM-IV, various models of the PMS type and the Ukrainian model of the SUSP (СУСП), the basis of which was developed in 1996-2001 [4], and the reproduction of this model takes place during the year 2017 for Ukravtodor.

In the latest version of the SUSP model, as in its previous versions, the planning of resource provision of road objects is carried out through a repair system - capital and medium - as well as certain current maintenance repairs. In the latest version of the SUSP model, seven repair strategies are considered, namely:

Strategy 1, which defines the so-called standard terms for repairs of non-rigid type of road surface, consists of two middle repairs between adjacent major repairs, the basis of which is determining the development of the value of the modulus of elasticity of road clothing and forecasting the volume of annual destruction of the travel section.

Strategy 2, which is aimed at fulfilling the condition of non-exodus of road wear outside the permissible (project in accordance with category and traffic flow). Thus, the criterion of the formation of repair strategies in this case is the equality of coverage. According to this strategy, two middle repairs are carried out, and the terms of their carrying out, as well as the power of repairs are calculated autonomously, that is, independently of each other. But the equality of coverage should have the same acceptable value in these two cases.

Strategy 3, which is also focused on the implementation of the condition of non-exodus of road wear beyond the permissible, but with the condition of three average repairs in period 0 - T. Strategy 4 defines the conditions for carrying out two stages of capital repairs and a series of average repairs in the same period 0 - T, provided that the regulatory equality of coverage is observed. Strategy 5, which determines the conditions for major repairs in the period  $T_k \leq 6$  years and which develops in two directions:

Strategy 5a: Defined by the fact that at first one average repair is carried out before major repairs are carried out. Then, two average repairs are made on conditions of non-exodus of road clothes beyond the permissible value of strength. If the definition of such a strategy for the implementation of road repair measures is targeting the permissible equality of road coverage.

Strategy 5 b: Determined by the fact that at first one average repair is carried out before major repairs are carried out in the event of non-exit of the transport condition of road wear (strength) under admissible conditions, then one major repair is carried out, and then, at regular intervals, two average repairs are made with the cost respectively .

Strategy 6, considering the possibility of major repairs in the period  $T_k > 6$  years. The development of such a strategy includes the following steps: first, 2 average repairs are carried out during the period of overhaul, that is, in the period 0 -  $T_k$ , in the estimated year  $T_k$ , the capital repairs are carried out by value, and then one more average repair after the  $T_k$  period is performed.

Strategy 7, which deals with mathematical models of the justification of two stages of capital repairs without carrying out mid-repairs of average repairs.

The main requirement for determining the terms and capacity of major repairs is the desired equality of coverage, and the implementation of major repairs is accompanied by work on the current minor repairs and maintenance of the road as a whole. In the process of planning average repairs, as the main limitation, the equality of coverage and the coefficient of adhesion of the coating to the surface of the road is taken as the main limitation. The criteria for choosing a better strategy for carrying out road repair work are the values of road and transport costs, and the choice of the best value of this criterion is determined in the process of interactive dialogue.

The above directions for determining needs, assessing the state and establishing resource support for maintenance in a reliable operational condition of highways should be used in the development of a system of models for their property valuation. Such models of property status assessment can be developed as stand-alone for further practical use, and used in the light of information that will be obtained from other models. In any case, the complexity of the solution to the problem of property valuation of motor roads is evident and comprehensively reflects the dynamics of requirements for the movement of property - the quantity and quality of transport and operational condition of highways.

### **Conclusions**

Features of the structure of the road economy determine the various approaches to valuing the property of its constituent elements. In order to assess the property of roads as the main component of the road economy, various approaches and techniques may be developed where a road is considered as part of the regional economy's infrastructure as an object of income or as the state's main assets requiring its maintenance of resources. But the prospect of developing such stand-alone approaches to property valuation requires the creation of a comprehensive strategic model for the property valuation of individual roads and network of roads of a certain destination.

### **References**

1. Khomyak Ja. V. Proektirovanie setey avtomobilnykh dorog. – M.: Transport. – 1983 – 183 с.
2. Braun J. Adaptive Ermittlung kuerzester Route in Verkehrswegenetzen. / Schriftreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswesen der Technischen Universität Muenchen // - H.15, 1980. - S. 151.
3. Likhostup M.M. Dovgostrokove planuvannja dorojnogo gospodarstva za ozinkamy dorojnich aktu-viv //Avtomobilni dorogj i doroschne budivnuztvo. – Vyp. 94. – K: Vyd –vo NTU, 2015. –с. 135 – 149.
4. Kyzyma S. S. Rozvytok systemy dovgostrokovogo planuvannja dorojnogo gospodarstva. /Kyzyma S.S., Likhostup M.M. // Avtomobilni dorogj i doroschne budivnuztvo. – Vyp. 97 – K.: Vyd – vo NTU, - 2016. – с. 103 – 113.
5. Kyzyma S., S. Rekomendazii po vykorystannu SUSP dlja planuvannja remontnykh robit./ Kyzyma S., S., Kanin O.P., Likhostup M.M. //Derschavna sluschba avtomobilnykh dorog Ukrainy (Ukravtodor). – K.: – 2002. 18 s.
6. Kanin O.P. Informaziyno-analitychna systema upravlinnja dovgostrokovymy kontraktamy na os-novi rivniv obslugovuvannja dorog. /Avtomobilny dorogy i doroschne budivnyztvo. Vyp.94 – K.: Vyd-vo HTU, 2015. – С.112 – 123.
7. Mazur I.I. Upravlenie proektami. /Mazur I.I., SChapiro V.D. i dr. Spravochnoe posobie.// – M.: Vysshaja shkola. – 2001 – 875 s.
8. Bronstein L.A. Ekonomika doroshnogo stroitelstva. /pod. red. Bronsteina L.A.// - M.: Transport. – 1971 – 304 s.

### **ВПЛИВ ПОТРЕБИ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ТА ЇХ СТАНУ НА ОЦІНКУ МАЙНОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Лихоступ Микола Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету,

<https://orcid.org/0000-0001-8139-1768>

**Анотація.** Особливості структури дорожнього господарства, як складової частини економіки країни, впливають на створення системної методики оцінки його майна, коли окремі складові будуть визначати особливості використання та розвитку дорожньої інфраструктури. З цією метою для оцінки майнового стану автомобільних доріг, які є основною складовою частиною дорожнього господарства, рекомендується розробка різних моделей підходу до визначення майнової оцінки автомобільних доріг.

В статті запропоновані напрямки та моделі оцінки майнового стану автомобільних доріг при умові використання різних концепцій визначення їх потреби в інфраструктурі економіки регіону та необхідності у підтриманні їх в належному експлуатаційному стані. Сполучення потреби та стану автомобільних доріг використовується як концептуальний критерій по формуванню моделей їх оцінки як майна в структурі економіки регіону. За таким критерієм автомобільна дорога розглядається як об'єкт, який:

**A** - забезпечує соціально – адміністративні потреби в організації руху автомобільного транспорту в регіоні та здійсненні пасажирських перевезень;

**B** - може принести прибуток в результаті свого використання;

**C** – являється частиною основних виробничих фондів регіону та держави в цілому. які повинні бути підтримані в належному стані;

**D** – народно-господарчий об'єкт певного цільового призначення, який використовується для забезпечення діяльності окремих галузей народного господарства.

Запропонована структурна класифікація автомобільних доріг за концептуальним критерієм їх потреби та стану - **A, B, C** та **D** - є основою для формування різних моделей оцінки їх майнового стану, особливості розвитку яких і розглядаються в статті. Головним принципом такої класифікації автомобільних доріг та транспортних споруд в цілому з метою їх майнової оцінки є те, що вони розглядаються як об'єкти або суб'єкти в моделях розрахунку майна власників чи користувачів транспортних споруд.

**Ключові слова:** потреба в дорогах, стан дороги, концептуальний критерій, моделі оцінки, майно.

#### **Перелік посилань**

1. Хомяк Я. В. Проектирование сетей автомобильных дорог. – М.: Транспорт. – 1983 – 183 с.
2. Braun J. Adaptive Ermittlung kuerzester Route in Verkehrsnetzen. / Schriftreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswesen der Technischen Universität Muenchen // - Н.15, 1980. - S. 151.
3. Лихоступ М.М. Довгострокове планування дорожнього господарства за оцінками дорожніх активів /Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 94. – К: Вид –во НТУ, 2015. –с. 135 – 149.
4. Кизима С. С. Розвиток системи довгострокового планування дорожнього господарства.Кизима С.С., Лихоступ М.М. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.. – Вип. 97 – К.: Вид – во НТУ. - 2016. – с. 103 – 113.
5. Кизима С.С. Рекомендації по використанню СУСП для планування ремонтних робіт./ Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М.// Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор). – К.: – 2002. 18 с.
6. Канін О.П. Інформаційно – аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг //Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.94 – К.: Вид-во НТУ, 2015. – С.112 – 123.
7. Мазур И.И. Управление проектами. /Мазур И.И., Шапиро В.Д. и др. Справочное пособие.// – М.: Высшая школа. – 2001 – 875 с.
8. Бронштейн Л.А. Экономика дорожного сьроительства. /под ред. Бронштейна Л.А.// - М.: Транспорт. – 1971 – 304 с.

DETERMINATION OF FACTORS AFFECTING INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF LAND IN CITIES

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИВАБЛИВІСТЬ ЗЕМЕЛЬ МІСТ



*Slavinska Olena Serhiyivna, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the department of Transport construction and property management, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +380509698109, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1*

<http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>



*Radzinska Yuliya Borysivna, senior lecturer, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, senior lecturer department of land administration and GIS, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, tel.: +380977780307, Ukraine, 61002 Kharkiv, Marshal Bazhanov str, 17*

<http://orcid.org/0000-0002-1661-7975>

**Summary.** The aim of the article is identification of main factors influencing investment attractiveness of land in the cities of Ukraine.

To achieve this goal the following tasks: determining trends and key factors in land use of cities; characteristics of land; the definition of urban areas and limitations in their use. Improved classification of the factors which allows for cartographic provision of land in cities and their investment potential, level of interaction between different stakeholder groups, areas of urban development, which allows to generate methodical toolkit for estimation of the level of investment attractiveness of land in cities.

Define the factors and features of their influence on investment processes in the sphere of land use of cities of Ukraine.

Prospects of further research is to develop a methodological approach to the evaluation of the level of investment attractiveness of land in cities and substantiation of measures on the increase of efficiency of their use.

**Key words:** land relations, factors of influence, investment attractiveness of the lands of restrictive factors of land use.

**Introduction.** Modern features and trends in urban land development require new grounded approaches to determine the factors that affect them, first and foremost, investment attractiveness, which will enable their rapid development in the overall system of city development.

Analysis of recent research and publications

In the writings of foreign and domestic authors, much attention is paid to the study of many issues of rational use of land resources by attracting investment. In previous studies [1-4] and the existing regulatory framework [5,6] there is no consistent and unambiguous classification of factors that affect the land of cities and create their attractive features for an investor.

Purpose and tasks of the article. The aim of the article is to determine the main factors influencing the investment attractiveness of Ukrainian cities.

To achieve this goal, the following tasks are addressed:

- determining the directions and main factors in the field of land use of cities;
- characteristics of the land of cities;
- definition of city territories and restrictions on their use.

**Materials and Methods.** The city is an open, hierarchical organized economic system. The city is considered an open economic system, since the amount of resources that it receives in monetary terms is not equal to the value of products (services) that are given to them in the environment. At the same time, the city is a hierarchically organized system, as it has management bodies. The city is a special economic system, which, on the one hand, can be considered as a territory, and on the other hand, as an object of management (Fig. 1).

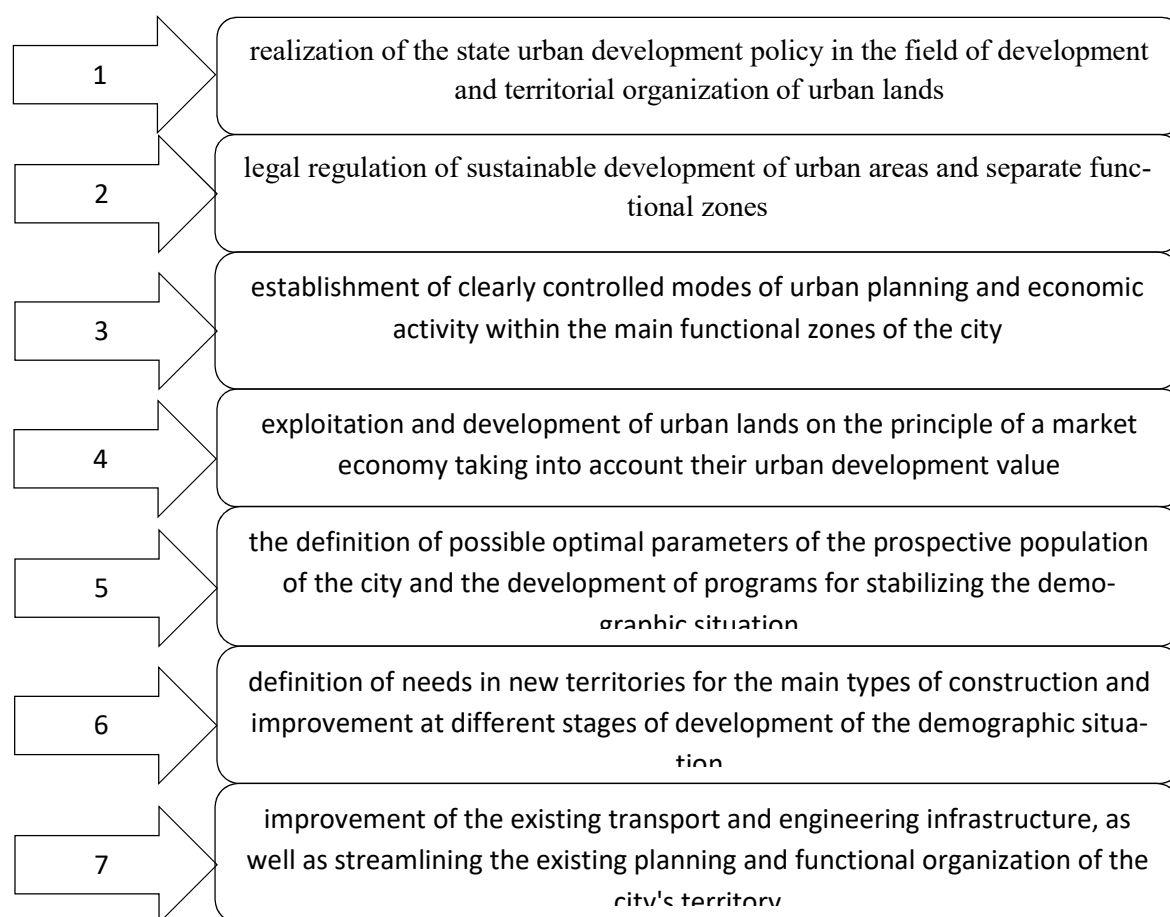


Figure 1 – Scheme of organization of the city's land

Рисунок 1 – Схема організації земель міста

Land of the territory of the city has its own investment potential (the sum of objective prerequisites for investments, which depend on the availability and diversity of spheres and objects of investment, and on their investment attractiveness).

Not only the data on all land, buildings and structures within the city territory, qualitative characteristics and cost of reproduction, the share of improvements in urban land (engineering, transport infrastructure, etc.) should be used as the initial information for mass evaluation of urban land and real estate. , usefulness of location, transport accessibility, ecology of separate sections of the city territory, information about the existence of restrictions on urban land, but also information on urban development characteristics, and the investment potential of the city's territory, etc. [4]. Consequently, at the level of a particular site, when determining its investment attractiveness for the purposes of mass assessment, it is necessary to take into account the potential increase in the benefits from the use of plots in the territories planned for development, including when changing their functional purpose, that is, in monetary terms, assess the return on the most efficient use of land Plots with the planned functional purpose and the planned level of development of infrastructure, business, etc. on this site [2].

Investment value - the value of a land plot for a particular investor. Unlike the market value, which implies the presence of a "typical" buyer or "typical" investor, the investment value is determined by the needs and characteristics of a particular person. The investment value is related to the current value of future income derived from the use of property. For an investor, such factors as risk, scale and cost of financing, the future increase or decrease in the cost of objects, changes in tax legislation are important.

When taking into account the above-mentioned vision of the relationship of factors and their impact on the value of land, a system of factors is proposed that directly affects the change in the investment attractiveness of urban lands (Table 1).

The value of urban lands depends on many factors. Without their classification, the establishment of significance, the degree of influence on the size of the fee for land, it is impossible to correctly carry out an economic assessment of the lands that are part of the city boundary.

**Results and Discussion.** On the other hand, an algorithm for accounting for the investment attractiveness of urban land for their mass evaluation is proposed. It consists of the following steps:

1. General strategic priorities of city development:
  - strategy of social and economic development of the city;
  - general development plan of the city.
2. Strategy of realization of investment potential of the city, which determines long-term plans for realization of potential of territories, list and contents of ways of their realization on the basis of strategic priorities of city development.
3. Mass evaluation of urban lands:
  - definition of investment attractiveness of typical sections of the city at the moment;
  - estimation of investment attractiveness of typical areas of the city in the future, as a result of the implementation of the strategy of determining the investment potential of the city.
4. Comparison of the current and planned level of investment attractiveness of land taking into account investment risks, which include the influence of factors that impede the implementation of strategic city development plans.
5. Determination of the value of the coefficient of investment attractiveness of typical sections of the city.
6. Calculation of the cost of typical land plots using the coefficient of investment attractiveness.

Table 1 – Classification of factors characterizing the investment attractiveness of urban land [3 - 5]

Таблиця 1 – Класифікація факторів, які характеризують інвестиційну привабливість міських земель [3 - 5]

Factor Name	Factor Components
The attractiveness of the environment, the region, the market	
Situation in the real estate market	The ratio of demand and supply from potential tenants and lessors, sellers and buyers of real estate, the marketing period of objects, the level of development of firms to provide services in real estate transactions and the cost of services.
Terms of land use	Rights to the land plot, payment for the land plot.
Administrative regulation	Town-planning system, real estate taxes, activity of various controlling bodies.
General economic situation	Investment attractiveness of the region, city, trends of industry and services, solvency of enterprises and organizations.
Socio-political situation	Trends in changes in population size, migration, style and living standards of the population (education, employment, income), crime rate, political stability.
Natural factors	Ecological situation, degree of propensity of the territory destructive natural and anthropogenic influence.
The attractiveness of the immediate surroundings	
Characteristics of the location	Distance to the city center or district, proximity to the specified objects, the possibility of integrated use.
Degree of development of the district and neighboring objects	The social and public significance of the district, existing buildings or premises in the area and immediate surroundings of the land, production and social infrastructure.
Transport infrastructure	Communication with motorways, roads, public transport.
Engineering Infrastructure	Provision of all types of utilities, telecommunications, working conditions and the degree of monopoly of organizations serving engineering systems, utility costs.
Engineering-geological conditions	Bearing ability of soils, possibility of flooding, waterlogging, high standing of groundwater.
The attractiveness of the adjacent territories and the site itself	
Physical characteristics	The presence of buildings on the plot, the area and shape of the plot, its condition and order, the density of development, the possibility of expansion of development by acquisition of neighboring areas.
Access to the plot	Availability and condition of access roads, parking, railway entrance.
Legal support	The documents certifying the rights to the land plot, possible arrest by the munition, registered easements, restrictions on the use of the site.

These factors are systematized in three levels (Fig. 2).

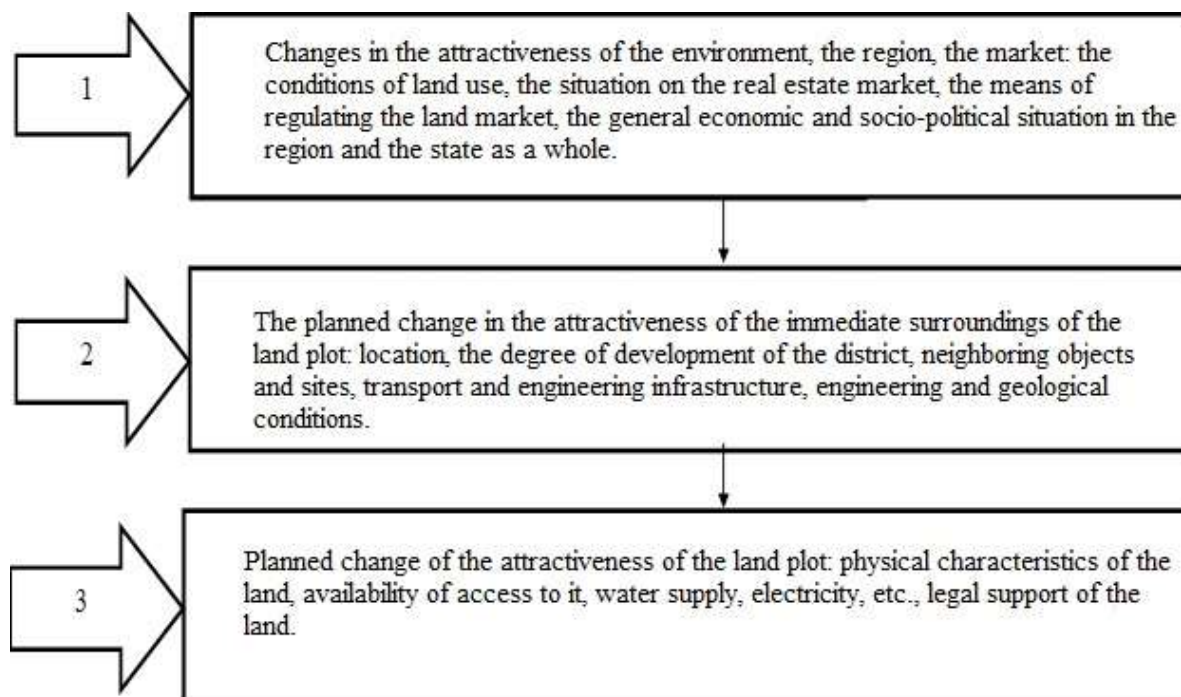


Figure 2 – Levels of systematization of factors influencing the investment attractiveness of urban land in the future

Рисунок 2 – Рівні систематизації факторів, що впливають на інвестиційну привабливість міських земель в майбутньому

On the basis of the analysis and taking into account market requirements, a general scheme for the implementation of urban land in the context of the impact on it of the factors of the external and internal environment, taking into account the investment attractiveness of urban lands by their mass assessment (Table 2).

Thus, based on the analysis of the existing experience of mass assessment of urban lands and the development of the idea of forming a method for accounting the investment attractiveness of urban lands for their mass assessment, it is proposed, for the purpose of determining the degree of expressiveness of the investment attractiveness of typical sites in the mass assessment of urban land, to assess the following characteristics of land: location ; market demand; financial feasibility (the ability of the project to invest in this area to ensure the profit from its use, sufficient to compensate investors for costs and ensure the receipt of expected profits); legal status and availability of necessary documents; maximum profitability with the most effective use of the site.

The listed characteristics assume an estimation when forming the investment value of land plots, which objectively reflects the investment potential of land plots. An important aspect in this case is precisely the accounting of the dynamics of changes in the value of land [5].

This system involves the calculation of the amount of additional benefits to the city from the implementation of investment-attractive areas by comparing the investment value of sites with the cadastral value, calculated on the basis of assessing the level of land rent for tax purposes. This benefit is formally expressed by the current level of investment attractiveness.

Table 2 – Implementation of urban land by levels, which are formed on the basis of mass estimation using the coefficient of investment attractiveness

Таблиця 2 – Реалізація міських земель за рівнями, які формуються на основі масової оцінки із застосуванням коефіцієнта інвестиційної привабливості

Level of investment program	Type of mass estimation of urban lands according to existing methods using the coefficient of investment attractiveness
Investment programs of the state level	Formation of the cost of land in the city, taking into account their investment attractiveness, demand and supply analysis
Investment proposals of the city level	Investors selection (tenders, contests, auctions, sub-contracting)
Control of target use of the budget	Investment development (realization of investment projects)
Results of cadastral assessment of urban lands	Monitoring of the effectiveness of urban land implementation

**Conclusions and Recommendations.** As a result of the analysis it is determined that the investment attractiveness of the land of cities is formed on the basis of the combination of factors. For a comprehensive analysis of investment attractiveness, factors are identified which can not be modified in the short term and the system of factors that change over a relatively short period of time and significantly influences decision-making on the use of urban land.

The classification of factors based on the definition of geospatial land provision of cities, their investment potential, the level of interaction between different groups of interested persons, directions of urban development, has been improved, which allows us to form a methodical toolkit for an integrated assessment of the level of investment attractiveness of land in cities.

Prospects for further research are the development of a methodical approach to assessing the level of investment attractiveness of land in cities and justifying measures in relation to increasing the efficiency of their use.

#### References

1. Drych, A. (2010). Osnovni sposoby dosyahnennya investytsiynoyi pryvablyvosti Ukrayiny [Basic ways to achieve investment attractiveness of Ukraine], *Visnyk NBU – Bulletin of the NBU*, 4, 40-41 [in Ukrainian].
2. Ivanova, N. Y., Danyliv, A. I. (2006). Otsinka investytsiynoyi pryvablyvosti rehionu: porivnyal'nyy analiz suchasnykh metodyk [Assessment of the investment attractiveness of the region: a comparative analysis of modern techniques], *Naukovi zapysky – Scientific Notes*, 56, 16-22 [in Ukrainian].
3. Butko, M., Zelens'kyu, S., Akymenko, O. (2008). Suchasna problematyka otsinky investytsiynoyi pryvablyvosti rehionu [Modern issues of evaluation of investment attractiveness of the region], *Ekonomika Ukrayiny – Economy of Ukraine*, 11, 30 – 35 [in Ukrainian].
4. Ho, S., Rajabifard, A., Stoter, J., Kalantari, M. (2013). Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue?, *Land Use Policy*, 35, 1, 379-387 [in English].
5. Oosterom, P. (2013). Research and development in 3D cadastres, *Environment and Urban Systems*, 40, 1, 1-6 [in English].
6. Pro zemleustriy: Zakon Ukrayiny vid 22.05.2003 r. № 858-IV. Data onovlennya: 01.01.2016. [About the land system: Law of Ukraine dated May 22, 2003 No. 858-IV. Date updated: 01/01/2016], Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/858-15> [in Ukrainian].

7. Pro zatverdzhennya Poryadku vedennya Derzhavnoho zemel'noho kadastru: postanova Kab. Ministriv Ukrayiny vid 17.10.2012 r. № 1051 [On approval of the Procedure for maintaining the State Land Cadastre: Decree Cabinet of the Ministers of Ukraine dated 17.10.2012 № 1051] Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-p> [in Ukrainian].

### **ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИВАБЛИВІСЬ ЗЕМЕЛЬ МІСТ**

**Славінська Олена Сергіївна**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: [elenaslavin9@gmail.com](mailto:elenaslavin9@gmail.com), тел.: +380509698109, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>.

**Радзінська Юлія Борисівна**, старший викладач, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, старший викладач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, e-mail: [radzinskayaub@gmail.com](mailto:radzinskayaub@gmail.com), тел.: +380977780307, Україна, 61002, Харків, вул. Маршала Бажанова, 17, <http://orcid.org/0000-0002-1661-7975>.

**Анотація.** Метою статті є виявлення основних факторів, що впливають на інвестиційну привабливість землі в містах України.

Для досягнення цієї мети вирішуються наступні завдання: визначення тенденцій і ключових факторів в землекористуванні міст; характеристики земель; визначення міських територій та обмежень у їх використанні. Покращена класифікація факторів, що дозволяють здійснювати картографічне забезпечення земель в містах і їх інвестиційний потенціал, рівень взаємодії між різними групами зацікавлених сторін, напрямки міського розвитку, що дозволяє сформувати методичний інструментарій для оцінки рівня інвестиційної привабливості земель в містах.

Визначити фактори і особливості їх впливу на інвестиційні процеси в сфері землекористування міст України.

Перспектива подальших досліджень полягає в розробці методологічного підходу до оцінки рівня інвестиційної привабливості земель в містах і обґрунтуванні заходів щодо підвищення ефективності їх використання.

**Ключові слова:** земельні відносини, фактори впливу, інвестиційна привабливість земель, обмежувальні чинники, використання земель.

### **Перелік посилань**

1. Дрич А. / Основні способи досягнення інвестиційної привабливості України. - Вісник НБУ. - 2010, - № 4. - с. 40-41.
2. Іванова Н. Ю. Оцінка інвестиційної привабливості регіону: порівняльний аналіз сучасних методик / Н.Ю. Іванова, А.І. Данилів // Наукові записки. - 2006. - Т 56. - С. 16-22.
3. Бутко М. Сучасна проблематика оцінки інвестиційної привабливості регіону // М. Бутко, С. Зеленський, О. Акименко // Економіка України. - 2008. - № 11. - С. 30 - 35.
4. Ho S., Rajabifard A., Stoter J., Kalantari M. Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue? [Text] / S. Ho, A. Rajabifard, J. Stoter, M. Kalantari // Land Use Policy. 2013. – Vol. 35, N. 1. – P. 379-387.
5. Oosterom P. Research and development in 3D cadastres [Text] / P. Oosterom // Environment and Urban Systems. 2013. - Vol. 40, N. 1. – P. 1-6.
6. Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV. Дата оновлення: 01.01.2016. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/858-15>.
7. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру: постанова Каб. Міністрів України від 17.10.2012 р. № 1051. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-p>.

DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR RISK ASSESSMENT OF THE LARGE RING ROAD  
CONSTRUCTION PROJECT AROUND KYIV

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРОЕКТУ БУДІВНИЦТВА ВЕЛИКОЇ  
КІЛЬЦЕВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ НАВКОЛО МІСТА КИЄВА



*Kharchenko Anna N., PhD (Cand. of Techn. Sciences), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management e-mail: [anna-x3@ukr.net](mailto:anna-x3@ukr.net), tel. +380442807909,*

*<http://orcid.org/0000-0001-8166-6389>*



*Kotyk Daria V., Chief specialist of the department of innovation and concession work, Kyiv Regional State Administration. Department of Regional Development of Kyiv Regional State Administration. Control of the functioning and development of public roads of local value, e-mail: [kotikdasha97@gmail.com](mailto:kotikdasha97@gmail.com), tel. +380956103828,*

*<https://orcid.org/0000-0003-1960-5029>*

**Summary.** One of the most important areas of development in Ukraine is the road sector. It belongs to the strategic sectors of the national economy, and the public road network is a significant component of Ukraine's infrastructure potential. The length and condition of road affects not only the safety and quality, mobility and employment, accessibility of educational and other services, but also causes changes in the temp and flow of capital in Ukraine, and is a necessary prerequisite for recovery competitiveness of the country's economy as a whole.

Three international transport corridors pass through Ukraine, which are combined with four national transport corridors. They all pass through the Kyiv region. An urgent problem for Kyiv today is the construction of a Large Ring Road (hereinafter referred to as the "LRR") around Kyiv city, which should relieve the flow of transit transport through the capital of Ukraine, reduce harmful emissions from exhaust gases, and preserve the city roads from being destroyed by excessive vehicles, that are now creating a global city problem.

**Key words:** road sector, concession, large ring road, public-private partnership, evaluation.

**Introduction.** Starting from 2007, the project documentation for the construction of the LRR is being developed. The main objectives of the project are:

- strengthening the role of Ukraine as a transit country through the combination of three international and four national transport corridors;
- unloading of Kyiv city from transit transport (average daily intensity of about 200 thousand cars / day), up to 40%;
- creating fast and comfortable conditions, improving road safety, significantly reducing travel time;
- development of a powerful infrastructure of the Kyiv region in a 500-meter corridor;

- maintenance of the road network, which is not designed for heavy weight loads and requires considerable financial costs for its restoration;
- creation of jobs during and after the construction of the LRR, as well as in the roadside infrastructure (up to 30,000 places);
- use of products of domestic production of metallurgical, mining, oil, machine-building industries, etc.;
- reducing congestion in Kyiv;
- increase of average operational speeds of traffic of vehicles, in comparison with the existing conditions of traffic through Kyiv;
- 4x reduction in traffic accidents due to poor road conditions;
- reduction of operating costs of road transport and unproductive costs of working hours of passengers and goods, reducing the cost of transportation;
- reduction of the negative impact on the environment, in particular, the amount of harmful emissions into the atmosphere by 40-50%.

It should be noted that today, irrespective of the existing legislation on the allocation of land for construction, there are a number of problems, ranging from unauthorized construction in the 500-meter corridor, the allocation of land plots and the approval of project documentation for them and the development of design estimates.

Considering the development period of project documentation since 2007, in the current legislation of Ukraine there have been some changes in the part of state and departmental building norms and standards, and suspended the design.

**The purpose of the study** is to investigate the problematic issues related to the implementation of the construction of the Large Ring Road around Kyiv and the ways to solve them.

**Main part.** The design and construction of a Large Ring Road around Kyiv is based on the basis of the preliminary draft documentation for the construction of the LRR, developed in July 2007, which defines the general direction of the passage of the LRR, and was approved by the district state administrations in eight districts of Kyiv, Brovary, Boryspil, Vasylkiv, Vyshgorod, Kyiv-Svyatoshin, Makarov, Obukhov, the following physical volumes of work:

- route length 214 km, including in the new direction 149 km, on the existing roads - 65 km;
- category of road - 1A (analogue of the Kyiv - Kharkiv-Dovzhansky road on the segment from Kharkovskaya Square, Kyiv to Boryspil Airport);
- intersections with highways at different levels, without traffic light regulation on the main route, providing speed calculation to 130 km / h;
- overpasses - 50;
- transport interchanges in two levels - 35;
- the number of lanes - 4-6;
- large bridge crossings - 3, incl. through the Dnipro River the northern junction - 8220 m, the southern junction - 4900 m, through the Desna River - 8910 m;
- automated system for pavement condition, traffic control;
- external lighting;
- objects of road operational services - 9 units;
- objects of road service (parking, hotel, cafe, gas station, service station, car wash) - 42 units;
- estimated land area of about 2000 ha.

The total cost of the project works is 165 million UAH. Works for 130 million UAH have been completed. The need for funds to complete the project works is 35 million UAH.

Sources of funding provided by the project:

- State Budget of Ukraine (separate budget program);
- International Investor Loans (World Bank, EBRD, EIB, etc.);

- Under concession (public-private partnership).

The investment return paths foreseen by the project:

- Fee for operational readiness (from the state budget);
- Revenues from the use of consumers of road service facilities;
- Revenues from payment for the travel of vehicles;

Potential participants in the project implementation are:

- State Road Agency of Ukraine;
- Kyiv Regional State Administration.

The problematic issue of the LRR construction is that the facts of unauthorized construction within the general direction of its passage have been revealed. In 2014, on the instructions of the Kyiv Regional State Administration, a survey was carried out to inspect and fix such sites of unauthorized construction. In order to carry out appropriate checks on such construction and take the necessary measures and restore the status of land plots, the Roads Service in the Kyiv region timely within its competence provided and agreed to provide complete and objective information in accordance with the developed materials for the design of the LRR, taking into account the documentation that also applies to land acquisition.

At present, the Department of Architectural and Construction Inspection in the Kyiv region and other obliged authorities need to accelerate the work on demolition and restoration of the status of land.

The General Directorate of the State Geocadastre in the Kyiv region provided information on the number of land plots in a 500-meter corridor on the first priority plot of construction of the projected LRR, namely partially or completely 1105 land plots, of which:

- Borodyansky district - 226 units;
- Makarov district - 418 units;
- Kyiv-Svyatoshinsky district - 228 units;
- Vasylykiv district - 163 units.

In 2009, the LRR is included in the list of objects that can be granted a concession under state guarantees. The mechanism for raising additional funds under state guarantees to finance the design and construction of the LRR should be defined to work on the involvement of international financial organizations in the financing of the preparation and implementation of LRR construction project.

Today, one of the main problems in the allocation of land for construction is that the current legislation does not provide for the possibility of automatic transfer of the right to use the land / lease when transferring ownership of real estate. The new owner actually has to go through the whole procedure of allotment of land to use and the conclusion of a lease, which in optimistic development can last about six months. However, the new owner cannot effectively use their property. There is no public access to state and communal property land databases, so investors cannot afford to be inspected from buildings (fig.1). Also, one of the problems is the improvement of the legislation on the use of agricultural land for road construction, the coordination of objects location. Overcoming all of the above issues affects the process of allotment of land for road construction and requires action as representatives of the road industry and legislation.

The concession for LRR construction involves the involvement of external investors. This form of project in the world was called "public-private partnership" [1]. PPP is a system of relations between public and private partners, in which the resources of both partners are combined with an appropriate allocation of risks, responsibilities and rewards (compensation) between them, for mutually beneficial long-term cooperation in the creation of new and / or modernization of existing the entities that need investment and in the use of such facilities [2].

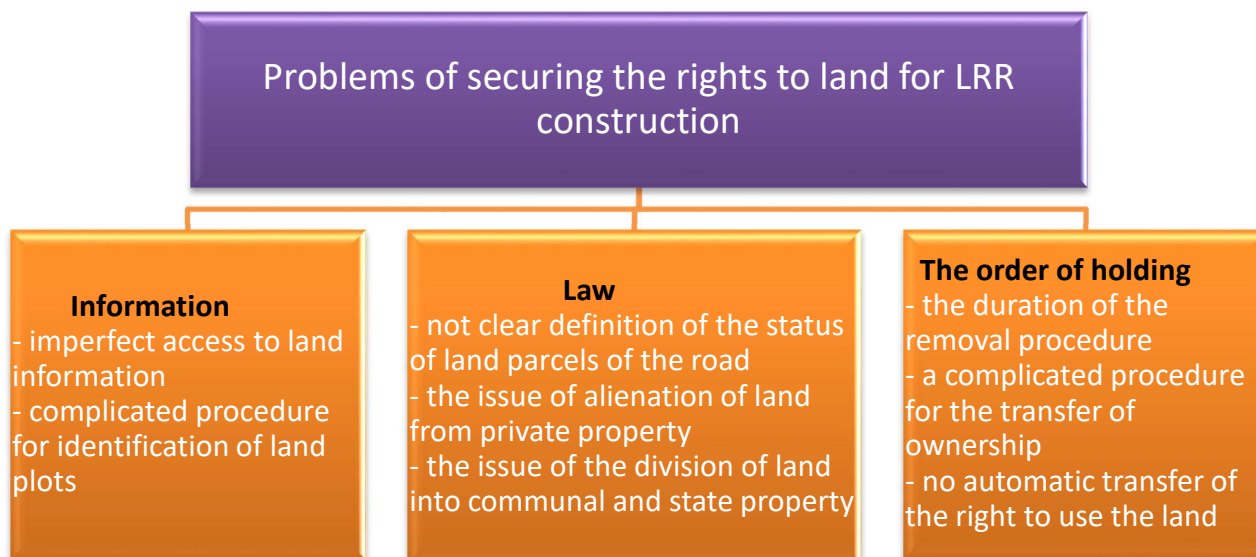


Figure 1 – Problems of securing the rights to land for LRR construction

Рисунок 1 – Проблеми забезпечення прав на земельні ділянки під будівництво ВКАД

Recently, public-private partnerships are gaining ground in Ukraine, as attracting investment, developing national, regional and local infrastructure, expanding and providing better services to citizens are undeniable public priorities [3-4].

Successful implementation of public-private partnership projects aimed at the development of infrastructure industries needs to be addressed in the various stages of the preparation and implementation process [2].

The main methods of valuation of PPP projects according to foreign experience in this research were Cost Benefit Analysis (CBA), methods of cost-effectiveness analysis of PPP projects (Cost Effective Analysis), multicriteria analysis (Multi-Criterion Analysis), methods of analysis of benefits and risks (Risk Benefit Analysis) [5].

The choice of a particular method depends on the amount of market information available regarding the expected income from owning (using) the property, the stability of its receipt, the purpose of the valuation and so on [6].

To analyze the effect of the implementation of the concession agreement was carried out by the method of benefit and risk analysis (Risk Benefit Analysis), which is used for project evaluation as a method of evaluating the effectiveness of investment projects implemented in the public sector, especially at the stage of "feasibility study", to support decision makers in choosing between design alternatives compared to financial and socio-economic indicators [7].

Risk Benefit Analysis compared the risks of situations and the cost of benefits during peer review.

Evaluating the risk group for the first phase of LRR construction from the M-06 Kyiv - Chop road to M-05 Kiev - Odessa a table with probability of occurrence of risk was prepared by the method of expert assessments (table 1).

Table 1 – Risk grouping by cause

Таблиця 1 – Групування ризиків за причинами їх виникнення

Cluster risk / reasons for risk	Risk groups	Types of risk / single risk	Probability of occurrence, Pi
Political	Changes in legislation	changes in budget legislation	0,04
		changes in public policy	0,04
		changes in taxation	0,03
	Budget changes	budget restructuring	0,015
		budget constraints	0,015
	Changes in standards and norms	building standards and regulations (state, industry)	0,06
Contractual	Contractual changes	changes in the general conditions of the project	0,13
		changes in the form of the contract	0,08
		unforeseen technical problems or environmental impact (environmental risk)	0,09
	Related to a partner	bankruptcy	0,07
		refusal of the partner to perform the work / ensure the required quality of work	0,05
	Changes in project implementation requirements	changes in user needs	0,01
		demographic / social changes	0,07
	Operational	Natural	significant rainfall
natural disasters			0,03
Productivity / quality		limiting the scope of modern technologies	0,01
		lack of resources	0,08
Management		poor planning	0,08
		shortcomings in the form of a contract	0,06
		Total	1

The estimated length of new road will be 35.2 km, the estimated cost of the project is 400 million UAH. The project is planned for 2020.

Fare for 1 km will be charged 2.9 UAH, and for travel of the whole section - 102.08 UAH.

Risk Benefit Analysis includes determining the benefits of construction (B):

$$B = D \times I \times 365, \quad (1)$$

where D – revenue from the passage of one car on the whole road (102.08 UAH);

I – the intensity of cars per day (average daily intensity  $\approx$  40,000 cars / day).

Determination of the cost of impact (C):

$$C_i = P_i \times B, \quad (2)$$

where P – probability of occurrence.

Determining the cost of risk ( $R_i$ ):

$$R_i = P_i \times C_i, \quad (3)$$

Determining the risk weight ( $r_i$ ):

$$r_i = \frac{R_i}{\sum_i^n R_{E,i}} \times 100 \quad (4)$$

Determining the risk of impact ( $W$ ) on construction

$$W_i = r_i \times P_i. \quad (5)$$

The results of cost-risk calculations are presented in table 2.

Table 2 – The results of cost-risk calculations

Таблиця 2 – Результати розрахунків за методом витрати-ризик

№	Types of risk / single risk	Probability of occurrence ( $P_i$ )	Determination of the cost of impact ( $C_i$ ), USD	Determining the cost of risk ( $R_i$ ), USD	Determining the risk weight ( $r_i$ )	Determining the risk of impact ( $w_i$ )
1	2	3	4	5	6	7
1	changes in budget legislation	0,04	59 614 720,00	2 384 588,8	2,26	0,0902
2	changes in public policy	0,04	59 614 720,00	2 384 588,8	2,26	0,0902
3	changes in taxation	0,03	44 711 040,00	1 341 331,2	1,27	0,0380
4	budget restructuring	0,015	22 355 520,00	335 332,8	0,32	0,0047
5	budget constraints	0,015	22 355 520,00	335 332,8	0,32	0,0047
6	building standards and regulations (state, industry)	0,06	89 422 080,00	5 365 324,8	5,07	0,3044
7	changes in the general conditions of the project	0,13	193 747 840,00	25 187 219,2	23,82	3,0965
8	changes in the form of the contract	0,08	119 229 440,00	9 538 355,2	9,02	0,7216
9	unforeseen technical problems or environmental impact (environmental risk)	0,09	134 133 120,00	12 071 980,8	11,42	1,0274
10	bankruptcy	0,07	59 614 720,00	7 302 803,2	6,90	0,4834
11	refusal of the partner to perform the work / ensure the required quality of work	0,05	74 518 400,00	3 725 920,0	3,52	0,1761

Continued table 2

1	2	3	4	5	6	7
12	changes in user needs	0,01	14 903 680,00	149 036,8	0,14	0,0014
13	demographic / social changes	0,07	104 325 760,00	7 302 803,2	6,90	0,4834
14	significant rainfall	0,04	59 614 720,00	2 384 588,8	2,26	0,0902
15	natural disasters	0,03	44 711 040,00	1 341 331,2	1,27	0,0380
16	limiting the scope of modern technologies	0,01	14 903 680,00	149 036,8	0,14	0,0014
17	lack of resources	0,08	119 229 440,00	9 538 355,2	9,02	0,7216
18	poor planning	0,08	119 229 440,00	9 538 355,2	9,02	0,7216
19	shortcomings in the form of a contract	0,06	89 422 080,00	5 365 324,8	5,07	0,3044
	Σ	1	1 445 656 960,00	105 741 609,6	100,00	8,3999

**Conclusions:** According to the Risk Benefit Analysis method for construction of a Large Ring Road around Kyiv, the effect of the implementation of the concession agreement amounted to 353.01%, which in monetary terms 510 331 363 449,6 USD. The payback period of the project is four years. We propose to set a certain risk of influence on road construction in the fare, which will accordingly amount to 110.65 UAH.

#### References

1. Про державно – приватне партнерство: Закон України від 01.07.2010 №2404-VI. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2404-17.1>.
2. Деякі питання організації здійснення державно-приватного партнерства : Постанова Кабінету Міністрів України № 384 від 11 квітня 2011 р. / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua>.
3. Katalin Tanczos, GiSeogKong. Public-Private Partnership Infrastructure Projects // Periodica polytechnica ser. Transp. Eng. Vol. 29, 2001. - No. 1-2, pp. 71-81.
4. Canada Strategic Infrastructure Fund Act, 2002, c. 9, s. 47, [Assented to March 27th, 2002]; Regulations Prescribing Capital Assets for the Purpose of the Definition “Strategic Infrastructure” in the Canada Strategic Infrastructure Fund Act SOR/2003-51 Registration January 30, 2003.
5. Green Paper on public-private partnerships and Community law on public contracts and concessions, presented by the Commission of the European Communities, Brussels, 30.4.2004 COM(2004) 327 final.
6. Gutachten des Bundesbeauftragten für Wirtschaftlichkeit in der Verwaltung zu Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Öffentlich Privaten Partnerschaften (ÖPP) im Bundesfernstraßenbau // Gz. V 3 - 2013 - 0144 Bonn, 2013. SIMULATION OF INVESTMENT RETURNS OF TOLL PROJECTS / by Weiyuan Yuwen, Zhanmin Zhang // Texas A&M Transportation Institute, August 2013.
7. David, Rodreck; Ngulube, Patrick; Dube, Adock (16 July 2013). A cost-benefit analysis of document management strategies used at a financial institution in Zimbabwe: A case study. SA Journal of Information Management. 15 (2).

#### **РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРОЕКТУ БУДІВНИЦТВА ВЕЛИКОЇ КІЛЬЦЕВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ НАВКОЛО МІСТА КИЄВА**

**Харченко Анна Миколаївна**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: [anna-x3@ukr.net](mailto:anna-x3@ukr.net), tel. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206. <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

**Котик Дар'я**, Київська обласна державна адміністрація, Департамент регіонального розвитку Київської обласної державної адміністрації, Управління функціонування та розвитку автомобільних доріг загального користування місцевого значення, головний спеціаліст відділу інноваційно-концесійної роботи, e-mail: kottkdasha97@gmail.com, tel. +380956103828, Україна, 02000, м. Київ, вул. Юрія Ільєнка, 40, к. 510. <https://orcid.org/0000-0003-1960-5029>

**Анотація.** Одним з найголовніших напрямів розвитку в Україні є дорожнє господарство. Воно належить до стратегічних галузей національної економіки, а мережа автомобільних доріг загального користування є вагомою складовою інфраструктурного потенціалу України. Протяжність та стан автодоріг впливає не тільки на безпеку та якість перевезення вантажів та пасажирів, мобільність та рівень зайнятості населення, доступність освітніх та інших послуг, а й обумовлює зміну темпів та потоків руху капіталу в Україні та за її межами, а також є необхідною передумовою відновлення конкурентоспроможності економіки країни в цілому.

Через Україну проходять три міжнародних транспортні коридори, які поєднуються з чотирма національними транспортними коридорами. Всі вони проходять через Київську область. Актуальною проблемою для Києва на сьогодні є будівництво великої кільцевої автомобільної дороги навколо міста Києва, яка має розвантажити потік транзитного транспорту через столицю України, зменшити шкідливі викиди від вихлопних газів, зберегти покриття доріг у місті від руйнування через надмірну кількість транспортних засобів, що зараз створюють глобальну проблему місту. Переоцінити значення ВКАД не можливо, вона має стратегічне значення для всієї країни, а ось її відсутність навпаки – завдає великої шкоди та приносить багатомільйонні збитки місту Києву та її мешканцям.

**Ключові слова:** дорожня галузь, концесія, велика кільцева автомобільна дорога, державно-приватне партнерство, оцінка.

#### **Перелік посилань**

1. Про державно – приватне партнерство: Закон України від 01.07.2010 №2404-VI. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2404-17.1>.
2. Деякі питання організації здійснення державно-приватного партнерства : Постанова Кабінету Міністрів України № 384 від 11 квітня 2011 р. / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua>.
3. KatalinTánczos, GiSeogKong. Public-Private PartnershipInfrastructure Projects // Periodica polytechnica ser. Transp. Eng. Vol. 29, 2001. - No. 1-2, pp. 71-81.
4. Canada Strategic Infrastructure Fund Act, 2002, c. 9, s. 47, [Assented to March 27th, 2002]; Regulations Prescribing Capital Assets for the Purpose of the Definition “Strategic Infrastructure” in the Canada Strategic Infrastructure Fund Act SOR/2003-51Registration January 30, 2003.
5. Green Paper on public-privatepartnerships and Community law on public contracts and concessions, presented by the Commission of the European Communities, Brussels, 30.4.2004 COM(2004) 327 final.
6. Gutachten des Bundesbeauftragten für Wirtschaftlichkeit in der Verwaltung zu Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Öffentlich Privaten Partnerschaften (ÖPP) im Bundesfernstraßenbau // Gz. V 3 - 2013 - 0144 Bonn, 2013.10.SIMULATION OF INVESTMENT RETURNS OF TOLL PROJECTS / by Weiyuan Yuwen, Zhanmin Zhang // Texas A&M Transportation Institute, August 2013.
7. David, Rodreck; Ngulube, Patrick; Dube, Adock (16 July 2013). A cost-benefit analysis of document management strategies used at a financial institution in Zimbabwe: A case study. SA Journal of Information Management. 15 (2).

ECONOMIC REGULATION BUSINESS OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONS

ЕКОНОМІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ БІЗНЕСУ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ



**Yatsenko Ihor V.**, Candidate of Economic Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Economics Department, tel. +380442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 313.

<https://orcid.org/0000-0002-3562-613X>



**Kaskiv Volodymyr I.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: vi\_kas@ukr.net, tel. +380504458544, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138.

<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>



**Chechuha Oleksand S.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: chechuga77@gmail.com, tel. +380662019442, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138.

<https://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

**Summary.** The thesis presents methodological approaches to diagnosis and restructuring the system of economic regulation business processes of construction organizations, aimed to stabilize their economic development. It was suggested a new definition of the term «business process of construction organization» and performed the decomposition of business processes in construction. It was determined main components of management of construction organizations, which allow improving their structure and consolidating all processes with strategically goals. It was improved the outsourcing mechanism to optimize financial processes and flows of subcontract construction organizations under condition of constrains on resources and deadlines on the construction of residential buildings designed and optimal measures of pre-payment. A new approach for the management of financial flows by means of fuzzy sets. Found out typical failings in administration of business processes in «effective» and «ineffective» of construction organizations to restructure their activity. It was conducted determinative factor analysis of profitability of operating activity in construction industry and worked out measures to improve the situation. Worked out the quantitative characteristics of key business processes, which allow defining the size of the advance payment of a customer to optimal level.

**Keywords:** business process of construction organizations, optimization financial flows, characteristics of key business processes, the size of pre-planning payment, outsourcing in construction.

**Formulation of the problem.** Economic development of modern enterprises as complex self-organizing open systems, characterized by such features as: increasing dynamism of processes, multiplicity, sensitivity to changes in the characteristics of the environment, increased nonlinearity and feedback, variation of characteristics so valued. Such factors of the conditions of operation of economic entities require a radical increase in the efficiency of adaptive management, aimed at regulating business processes of the enterprise.

The formation of a modern civilized market and socially oriented market relations is determined by the course and management of business processes of a particular enterprise. Since construction companies are the formative form of the investment and economic potential of the national economy, the effectiveness of their business processes should be a matter for both academics and practitioners, not only at the level of the individual enterprise, but also at the national level. The dynamic nature of the competitive environment in which construction companies operate is forcing them to constantly find new, more effective methods of managing adaptation and economic development mechanisms with the obligatory requirement to increase the competitiveness of products or services.

**Analysis of recent publications.** Many of the scientific works are devoted to problems of increasing the efficiency of enterprise management, among which the works of such Ukrainian and others scientists as A.V. Busyhina, D.M. Gvishiani, V.H. Herasimchuka, A.Yu. Denysova, S.A. Zhdanova, V.I. Knorringa, V.M. Kolpakova, V.S. Kulibanova, V.S. Ponomarenka, A.H. Porshneva and others. With regard to improving the management of construction companies, then here should bring the works of such authors: A.Ye. Achkasova, A.V. Druzhynina, V.F. Zalunina, O.S. Ivanilova, L.M. Kozara, Yu.P. Panibratova, B.V. Prykina, I.S. Stepanova, O.A. Tuhaia, V.I. Torcatiuka, R.B. Tiana, S.A. Ushatskoho, L.M. Chystova and other well-known scientists in this field. The essence and essential characteristics of business processes of enterprises in the process of creating a new value is reflected in the writings of foreign scholars such as E. Deming, V. Shuhart, M. Robson, F. Ullah, J. Becker. Among others researchers, the methodology of business process management deserves attention to the development of E.V. Novoselova V.I. Romanchina, A.S. Tarapanova, H.A. Kharlamova, V.H. Eliferova, S. Riba, I. Kremliovoi, O.V. Malysheva, M.Z. Svitkina, A. Kuriana and P. Serenkova.

The results of numerous studies allowed to develop effective economic and organizational tools for local adaptation of business entities to market conditions, but there are still no effective mechanisms for integrated management of the entire complex of business processes of construction enterprises. This leads to an imbalance of development capital investment across the economy, excessive sensitivity to external disturbances and catastrophic instability of construction companies, regardless of their size, area of economic activity and types of business entity. In this connection, there is an urgent need to study methods and develop new technologies for process management of construction enterprises, which led to the choice of subject, subject and subject of research, as well as the definition of its goals and objectives.

**The purpose and tasks of the study.** The purpose of the work is to develop a theoretical concept and methodical tools for diagnosing and synthesizing the system of economic regulation of business processes of construction enterprises, aimed at stabilizing their economic development.

Systematization of the reasons complicating the widespread introduction of process-oriented management by enterprises of the investment and construction complex, has revealed the main factors of destabilization of entrepreneurial activity in construction, namely: the lack of a clearly formulated policy and strategic goals in the field of process management of quality; insufficient level of professionalism of quality management personnel; insufficient financing of construction and installation works and investments in the latest

technologies and materials; ignorance of the requirements of the ISO 9001 to the development and implementation of processes and their integration into the quality management system.

The conducted studies have provided the basis for identifying the main obstacles to business process management in creating value in construction and the mechanism for their elimination through a purposeful restructuring of the management system at the industry. It was established that the discreteness in time of the through business process of a construction enterprise is largely due to the discrepancy of the results of the output of the previous process with the criteria for the inputs of the next process. This non-coordination of business processes becomes more severely affected if it is detected in the event of a collision of the outputs of the subcontractor's business processes with the inputs of the business processes of the general contractor, since the break of the chain in this case will be more significant and its elimination will be characterized by higher costs of each party, and therefore and greater losses in the value of the final product. It is necessary to define the concept of the "business process of a construction company", namely: it is an integral chain of coordinated operating links, which, with the help of technology and organizations, transform the input resources into a result (initial, intermediate or final products), the consumer value of which for the client exceeds the cost spent on his resources. As a result of the analysis of scientific approaches to the essence of process management and its place in the system of quality management of construction products, the decomposition of the business processes of the construction company was performed. The main process for construction contractors and for most general contractors of enterprises is a set of processes of "construction site" of general construction (installation and laying) and start-up and adjustment, the output of which is intermediate or final construction products. The security processes, first of all, include the logistic and economic-legal processes that provide the resource inputs of the main process, as well as project-organizational processes, which not only provide, but also optimize inputs of the main process by distributing resources between work, and accompany the process itself, promoting the quality of products, rational use of all kinds of resources and reducing their unproductive costs. Accompanying security processes are the financial-fiscal and part of the administrative processes, as the creation of construction products is characterized by a long and productive cycle that exceeds the length of periods of payment of basic taxes and the formation and delivery of regular financial statements.

In our opinion, repair, restoration and marketing processes should be included in the business processes of development of a construction company, which in scientific researches are defined as auxiliary processes of transformation. Marketing processes related to the study of demand for intermediate and final construction products, the search for new customers, the expansion of the market niche of the enterprise, the formation of its portfolio of orders, ultimately contribute to the long-term stage of accelerated development of the construction company and ensure its adaptation to the requirements of the competitive environment.

Summarizing the scientific and technical provisions gives grounds to assert that the "weakness" of the chain of business processes of a construction company, the elimination of which does not exclude outsourcing, is determined by isolating the integral blocks of processes and assessing the volume of their resources in comparison with the consumer value of the output. An in-depth analysis of the DBN D.1.1-1-2000 and other normative acts, which defined the methodology for calculating prices for construction products, made it possible to draw a conclusion on the strict regulation of the economic parameters of the auxiliary and security business processes that are accounted for in such items of expenses as generic and Administrative expenses. The cost of auxiliary and supportive business processes imposes an additional constraint on their labor intensity and labor costs for the relevant category of employees, since the corresponding amounts also are directly proportional to the complexity of the main business processes of the construction site. Such circumstances require construction companies, especially subcontractors, to rationalize their internal organizational structure, reduce internal transaction costs, as excessive deployment of control apparatus, unreasonable economic feasibility processes and business operations increase the cost of construction products.

To identify typical deficiencies in the process approach to managing construction companies, we will conduct a deterministic factor analysis of the profitability of operating activities in the whole industry. As a result, the following causes of complications of process management in construction were identified:

1. Inefficiencies in the use of hired workers, as they do not ensure the proper quality of work performed.
2. Ineffective management of the levers of the economic mechanism, because excessive labor reproduction costs do not increase payroll, and the level of prices for final construction products established by builders is high, compared to its value for consumers, which results in low profitability of construction.
3. The high material construction of the construction is caused by a high share of the cost of materials and logistics costs associated with the timely provision of inputs of major business processes.

A common for all enterprises of the "non-performing" group is the tendency of inefficiency to administer the through business process, which consists of an imperfect management system both in the construction process and in the processes accompanying it. Loss of solvency is due to the inability of such enterprises to generate sufficient income from their core business, since the cost of outlets through the process often exceeds the value of outputs for customers. Thus, changes in the management system for a "non-performing" group of companies should be more extensive and involve participants in both the main and auxiliary processes. More successful companies have gaps in the administration of auxiliary business processes, and for unprofitable joint stock companies there is a need to improve management not only auxiliary, but also the main building business process.

In the conditions of destabilization of the construction services market, when the customer, as a carrier of demand, plays a decisive role, the opportunity to receive income from their activities will be exclusively productive enterprises, the quality of outputs of the through process which is acceptable to the customer. Such enterprises should have an "acceptable" assessment of the administration of business processes, that is, the value of  $B_{gen} \geq 1.05$ . Using correlation-regression analysis, a tight correlation between the dependent variable and the indicator of return on wages was established, that is, the value of net income from the sale in the calculation of 1 UAH labor costs. This result is due to the decisive role of the labor factor in ensuring the continuity of the business processes chain to create the ultimate consumer value. The magnitude of the salary of employees, which among the sample of construction enterprises has a log-normal distribution, was included in the logit regression equation, the value of which is proposed to be considered as an indicator of the effectiveness of management of the main and security business processes.

According to the results of the component analysis, it is established that the growth of debit indebtedness, the cost of realized CIW negatively affects the formation of the main factors, that is, there are signs of weaknesses in management.

The analysis of the main factors has statistically confirmed the results of the diagnosis of the effectiveness of the administration of the through business process and the conclusion on the difference of priority tasks of improving the economic mechanisms of enterprises with different levels of effectiveness.

Enterprises that managed to withstand the macroeconomic crisis, relatively better administer the basic processes of construction production, but require better management of financial and fiscal security processes. The main reason for the inefficient, loss-making activity of construction enterprises is due to the low efficiency of management of the main building site processes and their logistical support.

The optimization task consists in determining the maximum of the target function - the share of material costs in the estimated cost of the construction business process, while respecting the set of restrictions that are determined by the technical and economic parameters of general construction works, provided by the technologies of construction of high-rise multi-section brick residential houses.

For general construction works:  $0.865 - 0.975 x_1 - 2.365 x_2 + 0.819 x_3 \rightarrow \max$ .

For plumbing works:  $0.931 - 0.999 x_1 - 2.44 x_2 + 0.516 x_3 \rightarrow \max$ .

Independent variables included in the optimization tasks are governed by the following restrictions:

1. The target function can not be a negative number, and variables can not be less than 1%:  $x_1 x_2 x_3 \geq 0.01$ ;

2. Taking into account the diversity of possible design decisions and technologies for their implementation in the construction of objects, in the role of the second constraint, it was accepted that each of the investigated structural elements of the estimated cost of the average level, that is, the average arithmetic mean of the percentages, was accepted. Thus, for general construction works  $x_1 \leq 4.85\%$ ,  $x_2 \leq 12.70\%$ ,  $x_3 \leq 16.55\%$ , and for sanitary works  $x_1 \leq 4.82\%$ ,  $x_2 \leq 12.34\%$ ,  $x_3 \leq 13.99\%$ .

3. The value of the target function should not exceed the optimal value equal to the value of the free constant of the regression equation,  $y \leq 0.865$  for general construction works and  $y \leq 0.931$  for sanitary-technical.

4. Since a significant amount of construction works is carried out manually and is labor-intensive, the share of labor costs should not be lower than the average value of the sample: for general construction work:  $1 - y - x_1 - x_2 \leq 0.1712$ , for sanitary-technical works:  $1 - y - x_1 - x_2 < 0.1746$ .

The solution of the proposed tasks with the help of MS Excel allowed to determine the optimal size of the share of material costs in the estimated cost of construction, and hence the size of the down payment for construction outsourcing, which is respectively:

- for general construction works – 72.1% ( $y = 0.721$ ). In this case, the size of other structural components of the estimate are as follows: the cost of operation of machines and mechanisms ( $x_1$ ) – 1%, total production costs ( $x_2$ ) – 9.78%, salaries of the main workers – 17.12%.

- for sanitary-technical works – 74.53% ( $y = 0.7453$ ). At the same time, the sizes of other structural components of the estimate are as follows: the cost of operation of machines and mechanisms ( $x_1$ ) – 1.05%, total production costs ( $x_2$ ) – 7.51%, salaries of the main workers – 16.91%.

Given the results of the solution of tasks it is not expedient to give outsourcing high-tech, capital-intensive work, which uses such machines and mechanisms that require high-skilled workers and labor-intensive construction processes. If, however, subcontractors carry out work with less than the optimal share of material costs, it is advisable to reduce the amount of the down payment for such work. As an option, the solution to the problem of economic regulation of business processes of construction enterprises is proposed to manage financial flows through a fuzzy logic approach. When designing a system of regulation of financial processes of construction enterprises, a three-element set of input linguistic variables (LV) with gaussian, z-like and s-like membership functions was given (Table 1). They allow us to calculate the degree of confidence in the affiliation of each of the terms LV to any value of the variable of economic characteristics within a universal set.

In the used Larsen algorithm, dephasing is performed by the center of gravity method, that is, the clear value of the output variable corresponds to the abscissa of the center of gravity of the area of the curvilinear figure obtained at the aggregation stage. In order to improve the interaction of the participants in the construction process, it is expedient to document the components of the system of fuzzy conclusion documented in the contracts for the implementation of the CIW. In particular, in the "Obligations of the parties" and "Payment terms" sections it is expedient to indicate the terms of bonus and fines of the executor, which will affect not only the amount of the advance payment, but also the contract price of the work. The quantitative characteristics of the main business process, which correspond to the "threshold for the preservation of acceptable value" in the proposed system, are:

- the quality of work execution is 94.5%, that is, the proportion of shortcomings that require immediate elimination should not exceed 5.5% of the completed CIW volume;

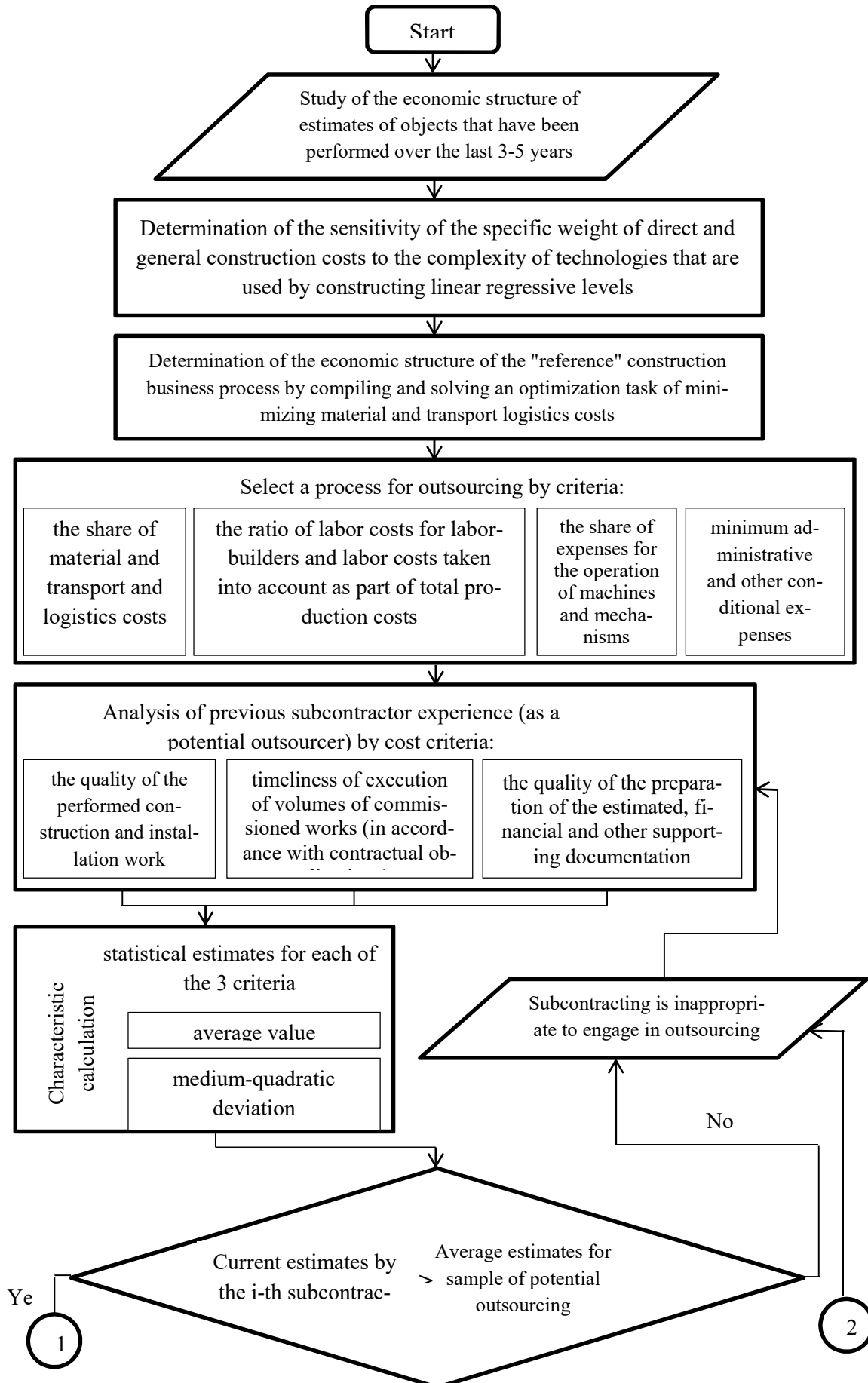
- the term of work execution is 1,03, therefore the delay can not be higher than 3% of the time scheduled by the project of works execution (PWE) and the calendar schedule;

- not less than 95% of the content of the estimate documentation should be unmistakable.

Table 1 – Parameters of membership functions used when applying a fuzzy-logical approach

Таблиця 1 – Параметри функцій належності, що використані при застосуванні нечітко-логічного підходу

Linguistic variable	Term name	Functional view
Input variables		
The quality of work, the quality of the estimated documentation	is unsatisfactory	$\mu_{\text{роб}}^H(U_{\text{роб}}) = \begin{cases} 1, U_{\text{роб}} \leq 0,895; \\ 1 - 2 * \left( \frac{U_{\text{роб}} - 0,895}{0,945 - 0,895} \right)^2, 0,895 < U_{\text{роб}} \leq \frac{0,895 + 0,945}{2}; \\ 2 * \left( \frac{0,945 - U_{\text{роб}}}{0,945 - 0,895} \right)^2, \frac{0,895 + 0,945}{2} \leq U_{\text{роб}} < 0,945; \\ 0, U_{\text{роб}} > 0,945; \end{cases}$
	satisfactory	$\mu_{\text{роб}}^3(U_{\text{роб}}) = \exp\left(-\frac{1}{2} * \left(\frac{U_{\text{роб}} - 0,95}{0,18}\right)^2\right)$
	flawless	$\mu_{\text{роб}}^5(U_{\text{роб}}) = \begin{cases} 1, U_{\text{роб}} > 0,995; \\ 2 * \left( \frac{U_{\text{роб}} - 0,955}{0,995 - 0,955} \right)^2, 0,955 \leq U_{\text{роб}} \leq \frac{0,995 + 0,955}{2}; \\ 1 - 2 * \left( \frac{0,995 - U_{\text{роб}}}{0,995 - 0,955} \right)^2, \frac{0,955 + 0,995}{2} < U_{\text{роб}} \leq 0,995; \\ 0, U_{\text{роб}} \leq 0,955; \end{cases}$
	execution is ahead of the schedule	$\mu_{\text{строк}}^6(U_{\text{строк}}) = \begin{cases} 1, U_{\text{строк}} \leq 0,93; \\ 1 - 2 * \left( \frac{U_{\text{строк}} - 0,93}{0,98 - 0,93} \right)^2, 0,895 < U_{\text{строк}} \leq \frac{0,93 - 0,98}{2}; \\ 2 * \left( \frac{0,98 - U_{\text{строк}}}{0,98 - 0,93} \right)^2, \frac{0,93 + 0,98}{2} \leq U_{\text{строк}} < 0,98; \\ 0, U_{\text{строк}} > 0,98; \end{cases}$
The term of work	on time	$\mu_{\text{строк}}^c(U_{\text{строк}}) = \exp\left(-\frac{1}{2} * \left(\frac{U_{\text{строк}} - 1}{0,04}\right)^2\right)$
	With delay	$\mu_{\text{строк}}^3(U_{\text{строк}}) = \begin{cases} 1, U_{\text{строк}} > 1,08; \\ 2 * \left( \frac{U_{\text{строк}} - 1,03}{1,08 - 1,03} \right)^2, 1,03 \leq U_{\text{строк}} < \frac{1,08 - 1,03}{2}; \\ 1 - 2 * \left( \frac{1,08 - U_{\text{строк}}}{1,08 - 1,03} \right)^2, \frac{1,03 - 1,08}{2} < U_{\text{строк}} \leq 1,08; \\ 0, U_{\text{строк}} < 1,03; \end{cases}$
Output variables		
The amount of advance payment	Fines	$\mu_{\text{аванс}}^{\text{штраф}}(U_{\text{допл}}) = \exp\left(-\frac{1}{2} * \left(\frac{U_{\text{допл}} + 0,2}{0,05}\right)^2\right)$
	Economically optimal	$\mu_{\text{аванс}}^{\text{опт}}(U_{\text{допл}}) = \exp\left(-\frac{1}{2} * \left(\frac{U_{\text{допл}} - 0}{0,04}\right)^2\right)$
	bonus	$\mu_{\text{аванс}}^{\text{п}}(U_{\text{допл}}) = \exp\left(-\frac{1}{2} * \left(\frac{U_{\text{допл}} - 0,2}{0,05}\right)^2\right)$



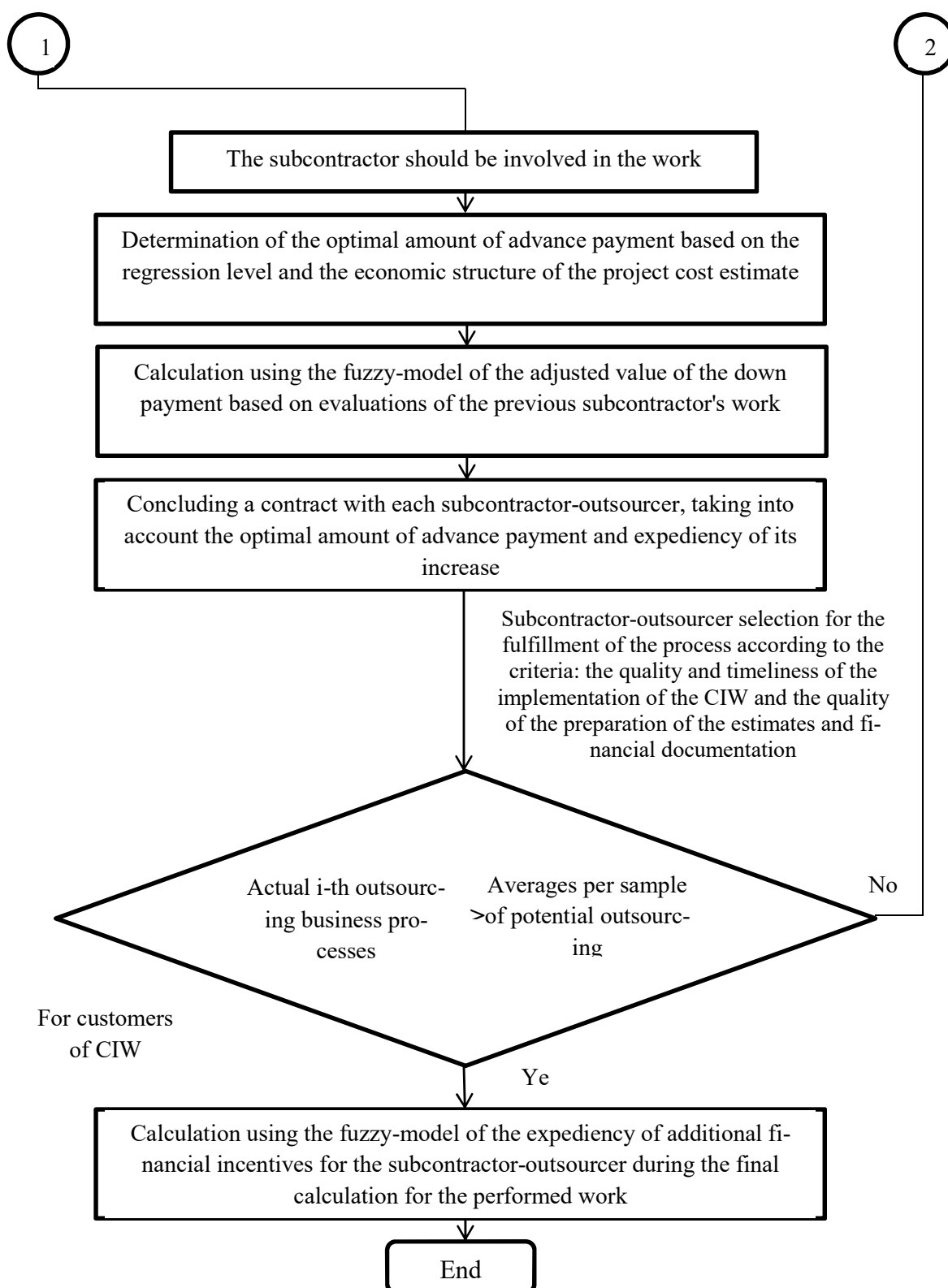


Figure 1 – The algorithm for improving the system of economic regulation of business processes at construction enterprises

Рисунок 1 – Алгоритм удосконалення системи економічного регулювання бізнес-процесів на будівельних підприємствах

In order to increase the amount of prepayment by 5% and it is right to demand from the customer strict observance of contractual obligations in the part of the schedule of payments for executed works, the "threshold of preservation of value" should meet the following criteria:

- The quality of work execution is 97.5%, that is, the percentage of shortcomings that require immediate removal, must not exceed 2.5% of the executed volume of CIW;
- the term of work execution is 0.95, hence the advance can not be less than 5% of the time scheduled by the calendar schedule;
- not less than 93.5% of the content of the estimate documentation should be unmistakable.

In order to increase the efficiency of business process administration of subcontractors, an algorithm for economic regulation of business processes was developed (Fig. 1). The fuzzy conclusion system is central to the management technology of the through business process of construction enterprises, since its use is foreseen at the final stages (No.9 - No.12) of the algorithm. The implementation of this management technology can accelerate the output of the construction industry from the economic crisis, reducing the ineffective losses of limited cash resources and the volume of poor-quality construction products.

**Conclusions.** The paper formulates and solves the actual scientific and applied task of effective economic instruments for the regulation of business processes of construction enterprises. In the course of the study, a number of new approaches have been proposed to clarify the essence of the concept of "business processes" in relation to the management of construction production, the classification of business processes, the outputs of which ensure the creation of the value of a construction product, the diagnosis of the efficiency of managing processes at the micro and macro levels, diagnostics of objective needs in the restructuring of business processes of a construction company, optimization of financial flows in the outsourcing of major construction business processes, the use of optimization results under uncertain economic environment. The results obtained are a significant contribution to the development of the concept and economic tools for diagnosing and synthesizing the system of economic regulation of business processes of construction enterprises, aimed at stabilizing their economic development.

1. Having analyzed the conceptual approaches of process-oriented management, the essence of the concept of "business processes of a construction enterprise" has been clarified, namely: "This is an integral chain of coordinated functioning links, which, by means of technology and organization of production, transform the input resources into the result (initial, intermediate or final products), whose consumer value exceeds the cost of the client's resources for the client". This definition more fully reflects the economic expediency of implementing process-oriented management in construction companies.

2. It is established that it is impossible to determine a universal list of business processes for construction enterprises. The reengineering of business processes of a construction company involves management regulation of such a set of supporting processes of management improvement and development of companies, the outputs of which ensure satisfaction of the economic interests of consumers of construction products.

3. Based on the proposed system approach to the division of business processes of construction enterprises by their place in the system of quality management of construction products, it has been established that the main process for construction enterprises is a set of processes of a "construction site" of general construction and commissioning, the output of which is intermediate or final construction products. A number of security processes contribute to a steady flow and create the necessary value for consumers of the outputs of the main process.

4. In order to ensure adaptation of the economic system of a construction company to an unstable macroeconomic environment during the crisis and recession, the set of auxiliary business processes and, accordingly, the tasks of process management of construction enterprises, are proposed to be classified according to the following groups: logistic, technical and technological development, administrative and controlling, marketing and financial and fiscal.

5. The method of assessing the effectiveness of economic management of business processes and determining the need for changes in business process management mechanisms is theoretically substantiated and developed, which, unlike existing ones, involves comparing the actual and standard dynamics of economic indicators, as well as analyzing the net income in terms of every hryvnia labor costs. The essence of the proposed method is to determine the efficiency of business process administration using logit regression with one independent variable – payload. It is established that the marginal values of wages, which indicate the potential of a construction company to obtain a positive financial result due to the effective administration of the through business process, should exceed 8.28 ... 9.41 UAH.

6. The conducted research of the main factors of the through business process of construction enterprises has statistically confirmed the results of diagnostics of the efficiency of administration of the through business process and allowed to generalize the differences in the priority tasks of improving the economic mechanisms of enterprises with different levels of performance:

- enterprises that managed to withstand the macroeconomic crisis, relatively better administer the basic processes of construction production, but require better management of financial and fiscal security processes;
- the main reason for the ineffective, loss-making activity of construction enterprises is due to low efficiency of management of the main processes of the construction site and their logistical support. Negative consequences of such deformations through the chain of value creation complicate the activity of construction enterprises even under favorable conditions of the macroeconomic environment.

#### **References**

1. Bondarenko Ye.V. Vstup do teorii upravlinnia biznes-protseamy budivelnikh pidpriemstv // *Ekonomika ta derzhava*, 2016. № 10. S. 58-60.
2. Bondarenko Ye.V., Sorokina L.V., Hoiko A.F. Upravlinnia biznes-protseamy yak vazhlyvyi chynnyk pidvyshchennia yakosti produktsii budivnytstva // *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 2013. Vyp. 18. S. 150-158.
3. Bondarenko Ye.V. Osnovni pidkhody do vymiru rezultatyvnosti protsesnoho upravlinnia budivelnym pidpriemstvom // *Budivne vyrobnytstvo*, 2016. № 49. S. 97-101.
4. Hoiko A.F. Stratehichne upravlinnia lohistychnymy biznes-protseamy budivelnikh pidpriemstv: priorytetni zadachi ta shliakhy yikh vyrishennia // *Nauchno-tekhnycheskyi sbornyk. Kommunalnoe khoziaistvo horodov*, 2015. № 87. S. 172-178.
5. Hoiko A.F., Sorokina L.V. rytmyzatsiia upravlinnia biznes-protseamy budivelnikh pidpriemstv v umovakh ekonomichnoi kryzy // *Aktualni problemy ekonomiky*, 2013. № 8 (98). S. 58-66.
6. Sorokina L.V., Hoiko A.F. Metodyka ekspres-diahonostyky rezultatyvnosti upravlinnia biznes-protseamy diiuchykh pidpriemstv // *Ekonomichniy prostir*, 2016. № 39. S. 277-286.

**ЕКОНОМІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ БІЗНЕСУ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**Яценко Ігор Володимирович**, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, тел. +380442803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313. <https://orcid.org/0000-0002-3562-613X>.

**Каськів Володимир Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном e-mail: vi\_kas@ukr.net, тел. +380504458544, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138. <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Чечуга Олександр Сергійович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138. <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Анотація.** У роботі досліджено методологічні підходи до діагностики та реструктуризації системи економічного регулювання бізнес-процесів будівельних підприємств, спрямованих на стабілізацію їх економічного розвитку. Запропоновано власне визначення поняття «бізнес-процесу будівельного підприємства» та виконано декомпозицію бізнес-процесів у будівництві. Визначено головні компоненти управління будівельними підприємствами, які дозволяють поліпшити їх оргструктуру та узгодити процеси нижчого порядку із головними цілями. Вдосконалено аутсорсинговий механізм оптимізації фінансових процесів і потоків підрядних будівельних підприємств в умовах жорстких обмежень на ресурси та терміни виконання робіт по зведенню житлових будівель, а також розраховано оптимальний розмір авансового платежу. Запропоновано новий підхід щодо управління фінансовими потоками при аутсорсингу за допомогою засобів теорії нечітких множин. Виявлено типові недоліки в адмініструванні бізнес-процесів «результативних» і «нерезультативних» будівельних підприємств, на підставі яких визначено основні напрямки і рівень поглиблення процесної реструктуризації будівельних підприємств. Проведено детермінантний факторний аналіз рентабельності операційної діяльності в цілому по галузі, внаслідок якого були виділені основні причини ускладнень процесного управління у будівництві. Встановлено кількісні характеристики основного бізнес-процесу, які відповідають «порогу збереження прийнятної цінності» і дозволяють підвищити розмір авансового платежу Замовника порівняно із економічно оптимальним рівнем.

**Ключові слова:** бізнес-процес будівельного підприємства, оптимізація фінансових потоків, характеристики основного бізнес-процесу, розмір авансового платежу, аутсорсинг у будівництві.

**Перелік посилань**

1. Бондаренко Є.В. Вступ до теорії управління бізнес-процесами будівельних підприємств // Економіка та держава, 2016. № 10. С. 58-60.
2. Бондаренко Є.В., Сорокіна Л.В., Гойко А.Ф. Управління бізнес-процесами як важливий чинник підвищення якості продукції будівництва // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин, 2013. Вип. 18. С. 150-158.
3. Бондаренко Є.В. Основні підходи до виміру результативності процесного управління будівельним підприємством // Будівельне виробництво, 2016. № 49. С. 97-101.
4. Гойко А.Ф. Стратегічне управління логістичними бізнес-процесами будівельних підприємств: пріоритетні задачі та шляхи їх вирішення // Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов, 2015. № 87. С. 172-178.
5. Гойко А.Ф., Сорокіна Л.В. ритмізація управління бізнес-процесами будівельних підприємств в умовах економічної кризи // Актуальні проблеми економіки, 2013. № 8 (98). С. 58-66.
6. Сорокіна Л.В., Гойко А.Ф. Методика експрес-діагностики результативності управління бізнес-процесами діючих підприємств // Економічний простір, 2016. № 39. С. 277-286.