

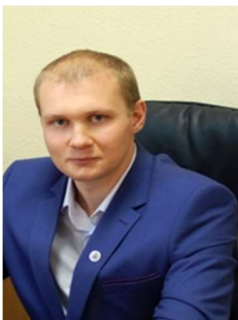
## СИСТЕМНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ В ОРГАНІЗАЦІЯХ SYSTEMIC ASPECTS OF PORTFOLIO MANAGEMENT IN ORGANIZATIONS



**Воркут Т.А.**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0354-476X>



**Петунін А.В.**, старший викладач, Національний транспортний університет м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8072-6842>



**Харута В.С.** кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8897-7558>

**Анотація.** В статті запропонована системна модель управління портфелями, яка, розглядаючи портфель як набір проектів, програм, підпортфелів, а також відповідних операцій, інтерпретує управління портфелем як постійну (неперервну) операційну діяльність. Показано, що умовами багатоаспектності задач управління портфелями має братися до уваги залежність постановки і вирішення цих задач від суб'єкта і об'єкта управління портфелем.

**Ключові слова:** управління портфелями, управління проектами, методологія управління проектами.

**Постановка проблеми.** На сьогодні складно знайти організації, які б не реалізовували проекти. Можна припустити, що саме збільшення кількості організаційних заходів, здійснюваних в формі проектів, із одного боку, і тенденція до прийняття організаціями концепції стратегічного управління, з іншого, зумовлюють простежуваний розвиток теорії і практики «управління портфелем». При цьому мова не йде лише про проектно-орієнтовані організації. Об'єднання проектів в портфелі дозволяє отримати нову якість управління ними, посилити загальний ефект, пов'язаний із реалізацією проектів, а самі портфелі стають одним із найбільш дієвих механізмів управління, зокрема стратегічного, організаціями [1].

Системна методологія управління проектами отримала розвиток в роботах наукових шкіл В.М. Буркова, С.Д. Бушуєва, В.І. Воропаєва та ряду інших дослідників. Визнаючи значущість отриманих результатів для теорії і практики управління проектами, водночас, слід зазначити, що розвиток управління портфелями в організаціях, який спостерігається на сьогодні, також має знайти відповідне відображення в системній методології управління проектами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В даній роботі термін портфель вживається як набір проектів, програм, підпортфелів, а також відповідних операцій. А управління портфелем розглядається як постійна (неперервна) діяльність, на відміну від управління проектами і програмами. Згідно даної інтерпретації в перших виданнях стандартів управління портфелем РМІ [2,3] фази життєвого циклу портфеля взагалі не виокремлювались або, за останніми виданнями, виокремлюються в інший спосіб, ніж фази життєвого циклу проекту. Тобто, портфель виступає в організації, свого роду, постійно діючою «оболонкою» для проектів і програм певного спрямування. Організація може одночасно здійснювати роботу за кількома портфелями. Наприклад, один портфель на корпоративному рівні для всіх проектів і програм, які охоплюють кілька структурних підрозділів організації і/або мають знаходитися під наглядом менеджера вищого рівня. В свою чергу, при кожному такому структурному підрозділі також можуть існувати декілька портфелів проектів і/або програм, які виконуються під контролем менеджера цього підрозділу. В організаціях із системою управління лінійного типу функція менеджера портфеля залишається постійною. Діючі проекти і/або програми в рамках портфеля існують всього лише протягом певного проміжку часу, проте сам портфель, як постійно діюча «оболонка», залишається.

В роботі [1], при аналізі ще перших двох версій стандарту управління портфелем РМІ [2,3], наголошувалося, що, на відміну від життєвого циклу проекту, життєвий цикл портфеля за своєю сутністю є циклічним, тобто таким, що повторюється. Водночас, думки стосовно взагалі доцільності виокремлення в життєвому циклі портфеля окремих фаз, або змісту цих фаз, є суперечливими. В деяких дослідженнях таку «доцільність» вбачають, в інших стають на вже вищезгадану позицію перших варіантів стандарту управління портфелем РМІ [2,3], що портфель слід розглядати як типову операційну діяльність, яка включає ряд безперервно виконуваних процесів. Тобто загальний процес управління портфелем не завершується. Виключення складають випадки, коли організація відмовляється від застосування в практиці управління підходу портфельного управління або організація перестає існувати як така. Таке ж бачення управління портфелем, тобто як неперервного бізнес-процесу, простежується і в наступних версіях відповідного стандарту РМІ із деякими відмінностями в структурі процесів управління портфелем [2-5].

Разом із тим, як зауважується в роботі [1], достатньо складно уявити портфель, в якому всі процеси управління ним будуть більш-менш рівномірно виконуватись протягом року. Можна очікувати, що портфель буде пов'язаний із циклічністю діяльності організації. Для різних організацій і типів портфелів ця циклічність може різнитися у часі (рік, квартал місяць або тиждень). Проте, для одних часових періодів більш характерними будуть одні процеси управління портфелем, для інших – інші. Така ж думка присутня і в останній на 2020 рік, четвертій, версії стандарту управління портфелем РМІ [5]. В даній версії [5] знайшли відображення вищенаведені попередні міркування фахової спільноти щодо інтерпретації життєвого циклу портфеля, в тому числі представлені в роботі [1]. Зокрема, в даній версії зазначається, що, так же як і програми та проекти, портфель має життєвий цикл. Проте, на відміну від програм і проектів, які мають, за визначенням, обмежену тривалість у часі, портфель триває відносно довше. Закриття портфеля має місце тоді, коли в ньому або немає потреби, через те, що поставлені цілі досягнуті, або коли компоненти портфеля зупинено чи переміщено до інших портфелів. Портфелі можуть об'єднуватися і розділятися для досягнення максимальної результативності [5].

Неперервний життєвий цикл портфеля, за роботою [5], складається із кількох фаз: ініціація, планування, виконання і оптимізація. Так же як і портфель розвивається через свій життєвий цикл, так і інформація та рішення переміщуються між цими фазами. Це є неперервним, проте не обов'язково послідовним. Наприклад, портфель може пройти кілька ітерацій фази планування, а потім в стислий термін перейти до виконання. Всі фази, включаючи ініціацію, є адаптивними, гнучкими і варіативними.

Фаза планування за основні цілі має розвиток плану управління портфелем і досягнення згоди стосовно наступного: управління компонентами портфеля за змістом, бюджетування для успішного виконання компонентів, ідентифікація взаємозалежності між портфелями та їх компонентами, ідентифікація ризиків та проблем і розвитку планів протидії, ресурсні вимоги (персонал, фінанси, матеріальні та нематеріальні активи), пріоритизація компонентів за портфелями, затвердження відповідальності органів керівництва і/або спонсора та зацікавлених сторін, вимірники (метрики) портфеля для вимірювання успішності (фінансової і нефінансової), зміст портфеля відносно компонентів, вимоги щодо продукту і/або послуги. На фазі планування має місце початкова оптимізація портфеля, оскільки портфель на цій фазі має формально узгоджуватися зі стратегією.

За основні цілі фази виконання виступають: забезпечення всіх компонентів в межах кожного портфеля – як об'єктів доставки (в термінології управління проектами), активне управління і

вирішення проблем портфеля та його компонентів, управління комунікаціями портфеля і компонентів, репріоритизація і зміна, за потреби, пріоритетів підпортфелів (на основі моніторингу та контролю), моніторинг потенціалу реалізації вигід на основі виконання (доставки) компонентів, а також управління портфелем активів і ресурсними обмеженнями портфеля.

Оптимізація – це процес «роблення» портфеля настільки оптимальним, наскільки можливо через максимізацію доступних умов, обмежень і ресурсів. Зазвичай, основна ціль оптимізації портфеля – це впевненість в тому, що доступні людські, матеріальні, а також фінансові ресурси використовуються найкращим чином щодо відповідних компонентів портфеля. Хоча деякі організації встановлюють регулярні перегляди щодо оптимізації за графіком, зазвичай, ця діяльність має місце, коли компоненти додаються чи закриваються. На цій фазі менеджер портфеля керує дискусією із зацікавленими сторонами, щоб мати певність у вигодах від компонентів, які залишаються [5].

Відповідно до розглянутого, узгоджуючись із четвертою версією стандарту управління портфелем PMI [5], за об'єкти управління портфелем в організації виступають портфелі і підпортфелі. Визначення компонентів останніх в даній роботі, відповідає визначенню, пропонуваному у вищезазначеній версії стандарту управління портфелем PMI. Що стосується виокремлення фаз життєвого циклу портфеля, то їх також пропонується в даному дослідженні узгоджувати з пропонуваним у четвертій версії стандарту управління портфелем PMI, а саме: ініціація, планування, виконання, оптимізація [5]. Водночас, вважаємо за доцільне виокремлення фаз відкриття і закриття – як нециклічних. Хоча, наприклад, діяльності, передбачені фазою ініціації, для окремих організацій можуть включати діяльності, відповідні виокремлюваній нами фазі відкриття. Проте, для загальноорганізаційного портфеля виокремлення фаз відкриття і закриття – як таких, що пов'язані з виникненням організації або завершенням її існування через злиття, поглинання, ліквідацію тощо – є значущим, оскільки значуще розширює перелік діяльностей, порівняно до представлених в четвертій версії стандарту управління портфелем PMI [5] фаз ініціації і оптимізації. Остання, до речі, взагалі суттєво обмежена в переліку діяльностей щодо закриття не лише загальноорганізаційного портфеля, а й його підпортфелів.

В четвертій версії стандарту управління портфелем PMI наведено доволі широкий перелік зацікавлених сторін [5]. Слідуючи умовам розгляду суб'єктів управління портфелем як активних учасників портфеля, які взаємодіють при виробленні і прийнятті управлінських рішень в процесі виконання портфеля, в колі зацікавлених сторін за суб'єктів управління портфелем можна виокремити наступних: керівництво портфеля – яке представить комітет із управління проектами, комітет із управління портфелями, які можуть бути присутні всі одночасно, або в певному поєднанні, залежно від функцій, які на них покладаються; офіс управління проектом; офіс управління портфелем; команди компонентів портфеля; менеджер портфеля.

Фази життєвого циклу портфеля, як об'єкти управління, мають підтримуватися певними процесами (групами процесів) управління портфелем. Групи процесів управління портфелем, в загальному випадку, являють собою логічне групування вхідних і вихідних складових, а також методів і інструментів управління портфелем. Виокремлення груп процесів управління портфелем в різних версіях стандарту управління портфелем PMI дещо різняться. Різняться також і підходи до групування.

В четвертій версії стандарту управління портфелем PMI [5], як зазначено вище, актуалізується концепція життєвого циклу портфеля – як неперервного ітераційного процесу. При цьому інкорпоровані діяльності, структуровані як процесні групи в третьому виданні стандарту управління портфелем PMI [4]. Проте, акцент в даній концепції робиться на значущих діяльностях, які мають місце за потреби, а не на тлумаченні життєвого циклу портфеля як встановленої послідовності діяльностей. Проводячи співставлення з третім варіантом стандарту управління портфелем PMI [4], наведені в четвертому варіанті стандарту управління портфелем PMI [5] фази циклу портфеля можна розглядати як групи процесів. Крім того, виокремлюється група процесів моніторингу і контролю – як підтримуюча. Передбачається можливість структурування життєвого циклу компонентів портфеля за фазами життєвого циклу портфеля з узгодженням переліку забезпечуваних діяльностей за відповідними фазами – ініціація, планування, виконання і оптимізація.

В роботі [6] представлено модель управління портфелями і проектами в організації, яка, беручи до уваги деякі із вищевикладених зауважень, дозволила вдосконалити системну модель управління проектами в контексті реалізації методології управління проектами в організації – в частині введення суб'єктів, об'єктів і процесів управління портфелями. Проте сумісний розгляд попередньо виокремлених суб'єктів, об'єктів і процесів управління портфелями і проектами ускладнює досягнення мети, щодо якої передбачається використання даної системної моделі. А саме виявляти склад проблемно-орієнтованих комплексів процесів (задач) при управлінні портфелями (підпортфелями) і компонентами

останніх в організаціях, які реалізують портфельно-орієнтоване управління, і визначати методи й інструментарій забезпечення ефективного прийняття рішень на всіх рівнях управління портфелем і його компонентами. Проводячи аналогію із виокремленням із РМВОК стандарту управління портфелем, в системній методології управління проектами на даному етапі розвитку останньої доцільно виокремлювати управління портфелем. Крім того, вищезгадувана системна модель управління портфелями і проектами виходить із застарілих, таких, що втратили на теперішній час свою актуальність, уявлень про процеси управління портфелем. Зокрема, вона не бере до уваги, кращу практику і уроки, акумульовані в четвертій, останній, на сьогодні, версії стандарту управління портфелем PMI.

Таким чином, беручи до уваги вищенаведені міркування стосовно суб'єктів, об'єктів і процесів управління портфелем, системні аспекти управління портфелями в організації можна представити у вигляді, наведеному на рис. 1 [5].

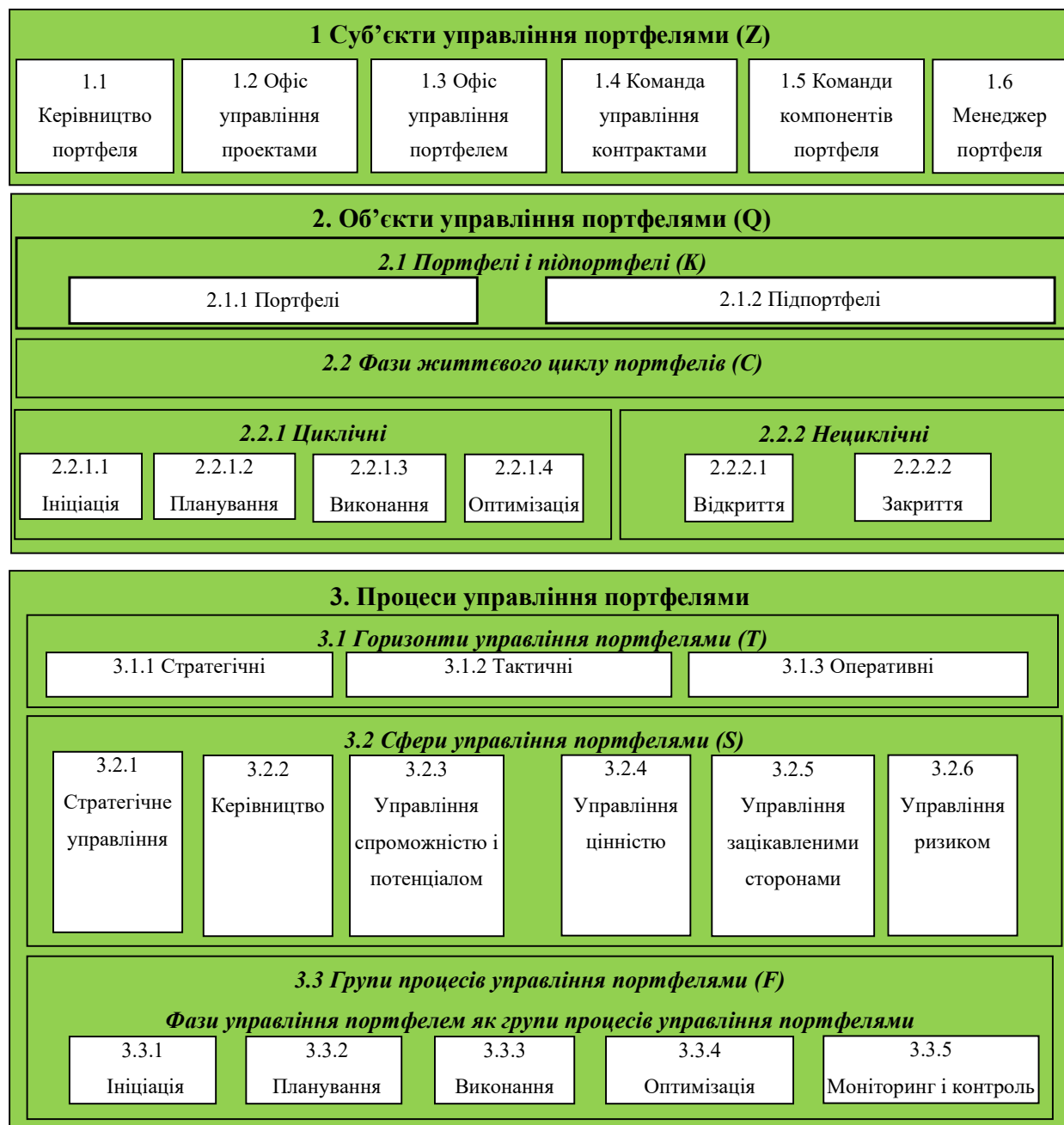


Рисунок 1– Системна модель управління портфелями  
Figure 1– Systems model of portfolio management

За аналогією до визначення властивостей системної моделі управління проектами, яка була розглянута в роботах [7, 8], представлена системна модель управління портфелями може інтерпретуватися як згорнуте дерево надлишкової множини задач і процедур, які теоретично можуть використовуватися при управлінні об'єктами портфельного управління. Кожний процес (задача) системної моделі управління портфелями однозначно визначається компонентами обраних рівнів системної моделі, логічно взаємопов'язаних між собою. Умовами багатоаспектності задач управління портфелями, як, до речі, і проектами, має братися до уваги їх залежність від суб'єкта і об'єкта управління портфелями. Системна модель управління портфелями дозволяє виявляти склад проблемно-орієнтованих комплексів процесів (задач) при управлінні портфелями, визначати методи й інструментарій забезпечення ефективного прийняття рішень на всіх рівнях управління портфелями.

За умов обрання окремого елементу за кожним рівнем системної моделі управління портфелями і послідовного їх розгляду, починаючи із найнижчого рівня – «Фази управління портфелем як групи процесів управління портфелями» і йдучи до верхнього рівня – «Суб'єкти управління портфелями», ми отримаємо формулювання задачі, відповідне управлінню портфелем як неперервною діяльністю. Постановка такої задачі буде визначена елементами, через які пройшов шлях (переріз) системної моделі: «Групи процесів управління портфелями» – «Сфери управління портфелями» – «Горизонти управління портфелями» – «Об'єкти управління портфелями» – «Суб'єкти управління портфелями».

**Висновок.** Запропоновано системну модуль управління портфелями, яка дає можливість виявляти склад проблемно-орієнтованих комплексів задач управління портфелями, що в свою чергу, створює передумови до підвищення ефективності процесів постановки і вирішення даних задач.

#### Перелік посилань

1. Илларионов А. В., Клименко Э. Ю. Портфель проектов: Инструмент стратегического управления предприятием. М. : Альпина Паблишер, 2013. С. 312.
2. Project Management Institute, Standard for portfolio management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
3. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
4. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
5. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Ffourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
6. Воркут Т.А., Петунін А.В., Третиниченко Ю.О. Системні аспекти портфельного управління в транспортних і логістичних організаційних структурах. // Systemy i środki transportu samochodowego. Efektywność i bezpieczeństwo. Wybrane zagadnienia. 2017. Monografia №11. Seria: TRANSPORT. Rzeszów. P. 109-111.
7. Арчибальд Р. Д., Воропаев В. И., Секлетова Р. Д. Системная методология управления проектами и программами. URL: <http://manager.net.ua/content/view/342/52>.
8. Воропаев В. И., Секлетова Г. И. Системное представление управления проектами. «Управление проектами: Восток-Запад – Грань тысячелетий»: сборник трудов международного симпозиума. Москва, 1-4 декабря, 1999, СОВНЕТ. М. : СОВНЕТ, 1999. Т.1. С. 71-77.

#### SYSTEMIC ASPECTS OF PORTFOLIO MANAGEMENT IN ORGANIZATIONS

**Vorkut T.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0354-476X>

**Petunin A.V.**, Senior Lecturer, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8072-6842>

**Kharuta V.S.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8897-7558>

**Abstract.** The article proposes a system model of portfolio management, which, considering the portfolio as a set of projects, programs, sub-portfolios, as well as relevant operations, interprets portfolio management as a permanent (continuous) operational activity. It is shown that the conditions of multifaceted portfolio management tasks should take into account the dependence of the formulation and solution of these tasks on the subject and object of portfolio management.

**Keywords:** portfolio management, project management, project management methodology.

### References

1. Illarionov A. V., Klimenko E. YU. Project portfolio: Tool for strategic enterprise management. M. : Al'pina Publisher, 2013. S. 312.
2. Project Management Institute, Standard for portfolio management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
3. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
4. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
5. Project Management Institute, Standard for portfolio management – Fhourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
6. Vorkut T.A., Petunin A.V., Tretynychenko YU.O. System aspects of portfolio management in transport and logistics organizational structures.// Systemy i środki transportu samochodowego. Efektywność I bezpieczeństwo. Wybrane zagadnienia. 2017. Monografia №11. Seria: TRANSPORT. Rzezów. P. 109-111.
7. Archibal'd R. D., Voropayev V. I., Sekletova R. D. System methodology for project and program management. URL: <http://manager.net.ua/content/view/342/52>.
8. Voropayev V. I., Sekletova G. I. System view of project management. "Project Management: East-West - the Edge of the Millennium": Proceedings of the International Symposium. Moskva, 1-4 dekabrya, 1999, SOVNET. M. : SOVNET, 1999. T.1. S. 71-77.

## EFFICIENCY OF USING BITUMEN AND ASPHALT CONCRETE MODIFIERS IN REPAIR OF TRUNK ROADS

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАТОРІВ БІТУМУ ТА АСФАЛЬТОБЕТОНУ ПРИ РЕМОНТІ МАГІСТРАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ



**Gameliak Ihor Pavlovych** - Doctor of Engineering Science, Professor, National Transport University, Professor of Airports Department, e-mail: gip65n@gmail.com, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka St. tel. +380503524124

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



**Palieshev Oleksii Serhiyovych** - PhD student of Airports Department, National Transport University, e-mail: paleshev.aleksey@gmail.com, , Ukraine, 01010, Kyiv, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka St. tel. +380633030640

<https://orcid.org/0000-0002-5939-2649>



**Reneiska Svitlana Volodymyrivna** - PhD student of Airports Department, National Transport University, e-mail: sv\_dortek@ukr.net, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka St., tel. +380674305485

<https://orcid.org/0000-0002-8702-3330>

**Summary.** According to the results of studies it was determined that when adding the natural bitumen, softening point increases linearly by 0.7°C when adding 1% of the natural bitumen, and penetration decreases logarithmically. Compressive strength raises 1.3-1.7 times at the temperature 20°C and 1.4-2 times at the temperature 50° for the natural bitumen and synthetic wax accordingly.

Linear dependence of the compressive strength increase at a temperature +20°C and +50°C for the asphalt concrete of type A against content of the natural bitumen Selenizza SLN 120 in percent by mass from the mass of bitumen BND 60/90 is observed.

During visual inspection of the pavement condition it was identified that at the section with SMA-20 modified with natural bitumen there generated 7 times less defects than at the section of pavement modified with synthetic wax.

This evidences that in this case asphalt concrete pavement modified with natural bitumen is more efficient than the pavement modified with synthetic wax.

**Keywords:** modifier, natural bitumen, asphalt concrete.

**Introduction.** Due to increased loads on motor roads, in particular, increase of axle loads and pressure in pneumatics of heavy vehicles, which leads to a quick destruction of road pavement, it is necessary to perform studies to identify the reasons of destruction and to take optimum decisions to solve this problem.

The article publication necessity is due the fact that after reconstruction of the motor road section that was executed more than five years ago, at two adjacent road sections paved with different modifiers, the defects

in a form of transverse and longitudinal cracks having non-standard frequency have occurred. At the same portion of the pavement, modified with synthetic wax, there generated 7 times more cracks than at that one modified with the natural bitumen.

It is generally agreed that modifying bitumens and asphalt concrete with synthetic wax additives and natural bitumens allows to increase durability of asphalt concrete in a pavement of motor roads. Comparing asphalt concrete modified with synthetic wax and natural additives to asphalt concrete on usual bitumen, it differs by increased resistance to formation of plastic deformations at high temperatures and considerable resistance to crack formation at low (below zero) temperatures. The degree of improvement of these properties depends on the content of modifier in bitumen or asphalt concrete and their quality.

Primary trends of bitumen technologies at the current moment are reduction of energy consumption through reducing technical process temperatures and increasing ecological safety by means of decreasing emissions of hazardous hydrocarbon into atmospheric air. It is anticipated herewith that the new technical process solutions shall not result in worsening quality of bitumens and bitumen-based materials. Currently, a plenty various options are being developed to achieve these objectives. Moreover, the new terminological definitions have been introduced: hot, warm, semi-warm, cold asphalt concrete mix.

One of the options to solve the problem is to add into a bitumen or directly into an asphalt concrete of the modifiers intended for improvement of mechanic characteristics within the region of moderate operation temperatures and reduction of viscosity of the binder at high technological temperatures. When temperature decreases, their viscosity increases, they are being crystallized and serve as either a fine-dispersion filler of bitumen or create own structural grid, both shall increase bitumen viscosity.

**Materials and Methods.** Main question of this study is determination of the efficiency in modifiers of bitumen and asphalt concrete, namely, identification of the reason of destruction of the pavement laid with adding two different additives into asphalt concrete during reconstruction. The sections which were paved adjacent to each other and were in use for the same period and under impact of relatively identic systematic loads.

**Study subject.** Study subject is M-07 Kyiv-Kovel-Yahodyn Motorway on the section from km 307+120 to km 309+500. Also synthetic wax and natural bitumen modifiers, which were added into asphalt concrete mix during reconstruction of this section, were subjected to study.

**Study methods.** Experimental studies under traditional tests of binders (penetration, ball-and-ring), that were performed according to the existing standards. Core sampling was carried out to determine physical and mechanic properties of asphalt concrete mix SMA-20 and saturation of material with water. Elastic deflection of the pavement was determined by means of plate bearing method. Respective researches have been executed to calculate statistical data of quantity and frequency of defects formation on the pavement.

### **Results and Discussion**

#### **The influence of the modifiers on properties of bitumen and asphalt concrete mix**

Characteristics and properties of bitumen modifiers applied during reconstruction of the section of M07 Kyiv-Kovel-Yahodyn on the section from km 307+120 to km 309+500.

Natural bitumen increases asphalt concrete elasticity modulus and softening point. It provides asphalt concrete with high fatigue resistance, thermal and shear resistance. This enables to reduce the risk of formation of damages on pavement, such as ruts, potholes, therethrough, increases durability of pavement. It can be added directly into asphalt concrete mix.

Synthetic wax (energy-saving additive) allows to reduce temperature of asphalt concrete mix paving by 15-20°C. It can be added directly into asphalt concrete mix. It increases pavement's rutting resistance and thermal resistance. Strength characteristics of asphalt concretes rise less than when adding synthetic wax. It increases bitumen softening point by 20-40°C. It increases bitumen viscosity. Bitumen cohesion strength remains practically unchanged. Improves adhesion properties of bitumen up to 90%.

Polimer additive is amorphous polyolefin – mixture of ethylene polymers recycled from recoverable resources. Adding of the polimer additive into stone-mastic asphalt concrete results in increasing compressive strength values (1.13 times for compressive strength at 20°C and 1.33 times for compressive strength at 50°C), tensile strength in bending (1.26 times at 0°C and 1.42 times at 20°C) and tensile strength in splitting at 0°C (1.74 times).

There are comparative characteristics of bitumen modifiers which were applied for the reconstruction of M-07 Kyiv-Kovel-Yahodyn Motorway on the section from km 307+120 to km 309+500 in the table 1.

It is worth to note that at the reconstruction section there was used an asphalt concrete modified also with third polymer additive, but it was not taken for further analysis, because the concern has arisen to the section whereat longitudinal crack with significant length formed along the axis of pavement, dividing asphalt

concrete layer paved with synthetic wax (energy-saving additive) and with natural bitumen. Whereon were also interesting cases of opening of transverse cracks to the entire pavement width.

Table 1 – Comparison of properties of used modifying additives to the bitumen BND 60/90 (road petroleum bitumen)

Таблиця 1 – Порівняння властивостей використаних модифікуючих добавок на бітум БНД 60/90

| No. | Property name                   | Actual data     |               |
|-----|---------------------------------|-----------------|---------------|
|     |                                 | Natural bitumen | Synthetic wax |
| 1   | Mass colour                     | Black           | White powder  |
| 2   | Real density, g/cm <sup>3</sup> | 1.23            | 1             |
| 3   | Penetration at 25°C, 0.1 mm     | 0               | 3             |
| 4   | Softening point, °C             | 129             | 120-130       |
| 5   | Content of mineral particles, % | 21              |               |
| 6   | Ash content, %                  | -               |               |
| 7   | Moisture content, %             | 0               |               |

Test results for determination of the softening point and funnel viscosity of bitumen depending on content, modified with natural bitumen and synthetic wax are shown in the tables 2-3.

Table 2 – Properties of the bitumen modified with synthetic wax or natural bitumen

Таблиця 2 – Властивості бітуму модифікованого синтетичним воском або природнім бітумом

| Modifier        | Content additives, % | Penetration at 25 °C, 1/10 mm | Softening point, °C |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|
| BND 60/90       | -                    | 78                            | 49                  |
| Synthetic wax   | 2                    | 52                            | 73                  |
| Synthetic wax   | 3                    | 35                            | 92                  |
| BND 60/90 +     | -                    | 96.3                          | 49.5                |
| Natural bitumen | 10                   | 65                            | 54.25               |
| Natural bitumen | 20                   | 51.3                          | 57.75               |

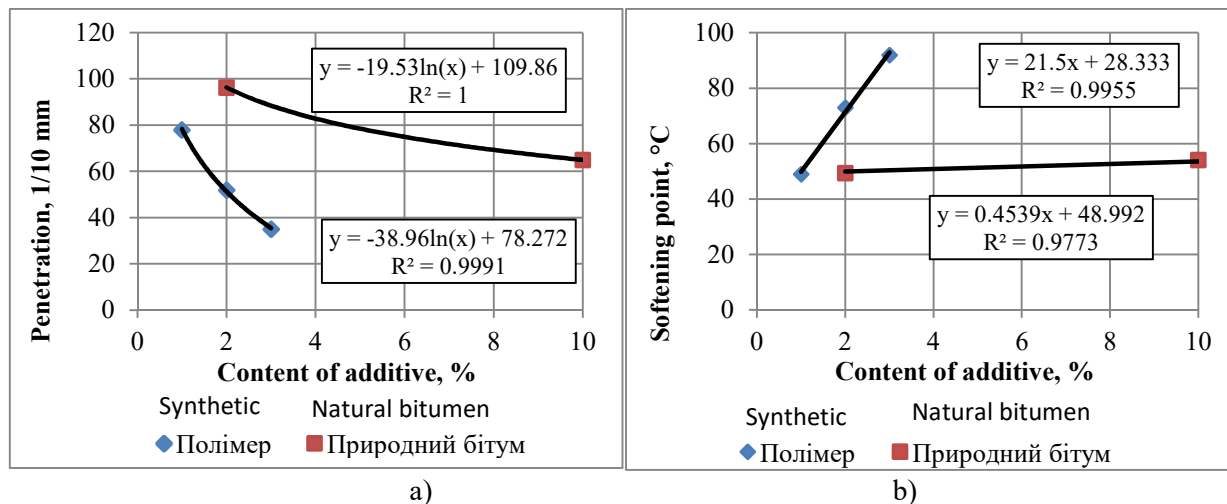


Figure 1 – Dependence of the penetration a) and softening point b) from the content of synthetic wax and natural bitumen modifiers

Рисунок 1 – Залежності пенетрації а) та температури розм'якшення б) від відсотку вмістумодифікаторів синтетичного воску та природнього бітуму

Determination of physical and mechanic properties of the asphalt concrete mix in which the bitumen modified with synthetic wax and natural additive added, was carried out in accordance to DSTU B V.2.7-127:2015 "Asphalt concrete mixes and stone mastic asphalt concrete. Technical conditions" and the following data was obtained as outlined in the table 4.

As a comparison, the table 5 and the Fig. 2 outline the results of determination of the influence of the content of the Selenizza SLN 120 natural bitumen against BND 60/90 bitumen, % (by mass in 100% of bitumen) on physical and mechanic properties of hot fine-grained dense asphalt concrete mix, type A, continuous gradation, grade 1, BND 60/90 (АСГ.ДР.Щ.А.НП.1..БНД 60/90) according to DSTU B. V.2.7-119:2011 "Asphalt concrete mixes and road and aerodrome asphalt concrete. Technical conditions".

Table 3 – Physical and mechanic properties of asphalt concrete mix SMA-20

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості асфальтобетонної суміші ЩМА 20

| Modifier          | Water saturation,<br>% | Strength limit at temperature,<br>kgf/cm <sup>2</sup> |      |       | Density | Quantity of<br>binder in the<br>mix, % |
|-------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|------|-------|---------|----------------------------------------|
|                   |                        | 0°C                                                   | 20°C | 50°C  |         |                                        |
| DSTU requirements | 1.5-3.0                | –                                                     | >21  | >6    | –       | 5.5-6.5                                |
| Natural bitumen   | 2.8                    | –                                                     | 28   | 8.5   | 2.37    | 5                                      |
| Synthetic wax     | 1.35                   | –                                                     | 31   | 12.75 | 2.35    | 5.01                                   |
| Polymer No.2      | 1.79                   | –                                                     | 35.3 | 12.5  | 2.374   | 5.24+0.35                              |

Table 4 – Physical and mechanic properties of hot fine-grained dense asphalt concrete mix, type A, continuous gradation, grade 1, BND 60/90 (АСГ.ДР.Щ.А.НП.1..БНД60/90)

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону із суміші АСГ.ДР.Щ.А.НП.1..БНД60/90

| Content of Selenizza SLN 120 in bitumen, % (by mass in 100% of bitumen) | Content of bitumen, % (more 100%) | Volume density, g/cm <sup>3</sup> | Water saturation, % | Compressive strength, MPa, at |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----|
|                                                                         |                                   |                                   |                     | R20                           | R50 |
| 0                                                                       | 5.9                               | 2.42                              | 2.2                 | 4.5                           | 1.7 |
| 6                                                                       | 5.9                               | 2.42                              | 0.55                | 4.6                           | 2.1 |
| 16.5                                                                    | 5.9                               | 2.41                              | 2.2                 | 5.4                           | 2.3 |
| 25                                                                      | 6.5                               | 2.41                              | 0.81                | 5.8                           | 2.9 |
| 50                                                                      | 6.3                               | 2.40                              | 1.2                 | 7.1                           | 3.6 |

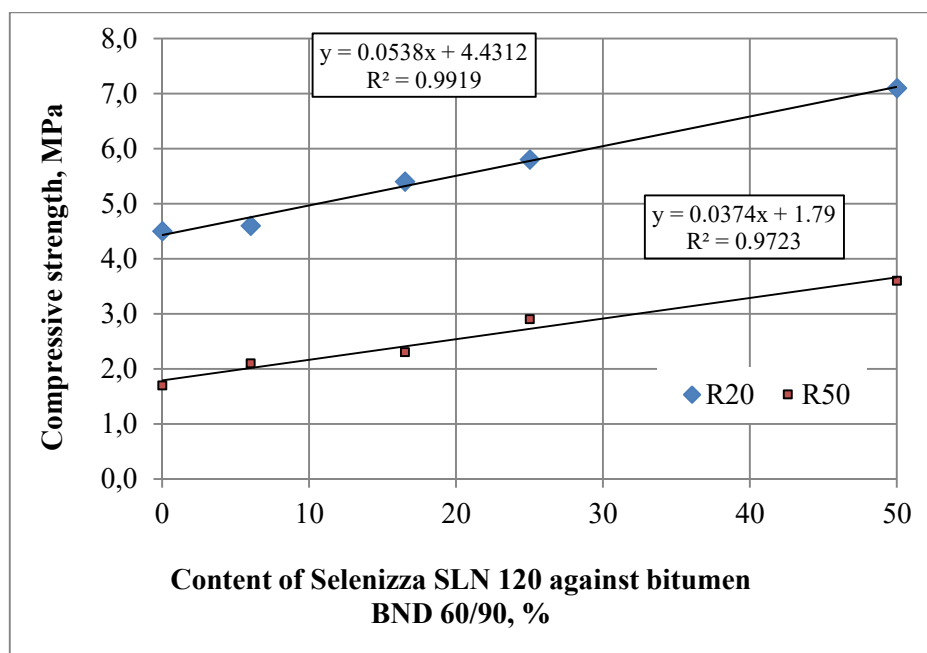


Figure 2 – Dependence of the compressive strength of asphalt concrete against content of natural bitumen Selenizza SLN 120 in percent by mass from the mass of bitumen BND 60/90

Рисунок 2 – Залежність міцності на стиск асфальтобетону від вмісту природного бітуму Selenizza SLN 120 у відсотках за масою від маси бітуму БНД 60/90

Linear dependence of compressive strength increase at a temperature +20°C and +50°C for the asphalt concrete of type A against content of the natural bitumen Selenizza SLN 120 in percent by mass from the mass of bitumen BND 60/90 is observed.

Results of determination of density and water saturation of samples taken from asphalt concrete pavement on the section No.1-2 during inspection performed in autumn 2016 are shown in the table 6 and the Fig. 3.

The inspection was participated by the Chief of the laboratory of Road Service in Rivne region Hryhorieva Nina Serhiivna, PhD courses O.S. Palieshev, PhD courses S.V. Reneiska from National Transport University, junior scientist of non-rigid road pavement department A.D. Yeremeichuk, junior scientist of non-rigid road pavement department D.A. Larin, senior scientist of non-rigid road pavement department V.M. Katukova from “DerzhdorNDI” DP (State Enterprise).

Table 5 – Results of determination of density and water saturation of asphalt concrete pavement samples

Таблиця 5 – Результати визначення щільності та водонасичення зразків асфальтобетонного покриття

| Number of taken sample | Density, water saturation |                            |                                            |                            |                                |                     |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|
|                        | Mass of dry sample, g     | Mass of sample in water, g | Mass of sample after water, air-exposed, g | Density, g/cm <sup>3</sup> | Mass after water saturation, g | Water saturation, % |
| Core no.3 PK           | 1017.2                    | 600.6                      | 1019.8                                     | 2.43                       | 1022.8                         | 1.34                |
| Core No.5 PK 307+320 L | 1089.4                    | 645.6                      | 1092                                       | 2.44                       | 1093.8                         | 0.99                |
| Core No.6 PK 380+200 L | 1082.4                    | 636.8                      | 1084.6                                     | 2.42                       | 1087                           | 1.03                |
| Core No.10             | 1099.8                    | 643                        | 1105.8                                     | 2.38                       | 1114.6                         | 3.2                 |
| Core No.11             | 980.4                     | 571.8                      | 984.4                                      | 2.38                       | 990.2                          | 2.38                |

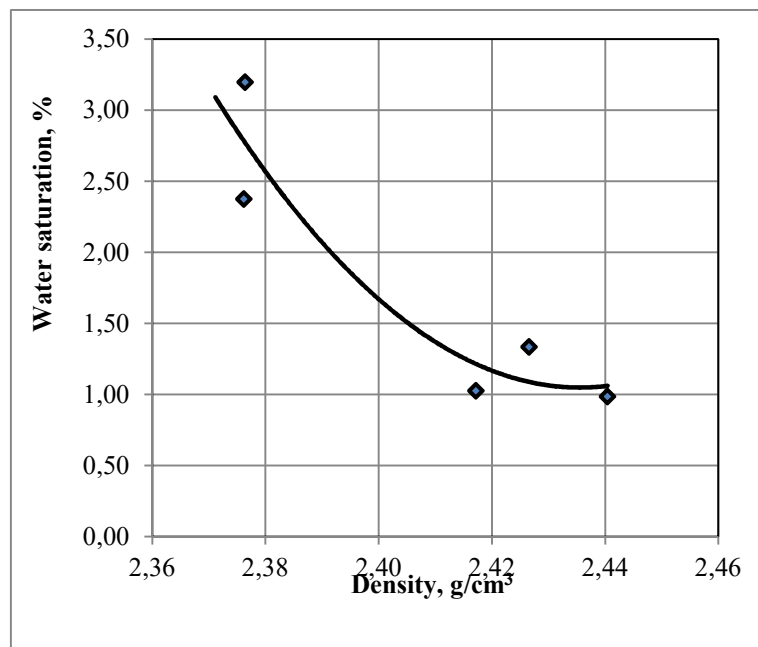


Figure 3 – Dependence of asphalt concrete samples water saturation from material density

Рисунок 3 – Залежність водонасичення зразків асфальтобетону від щільності матеріалу

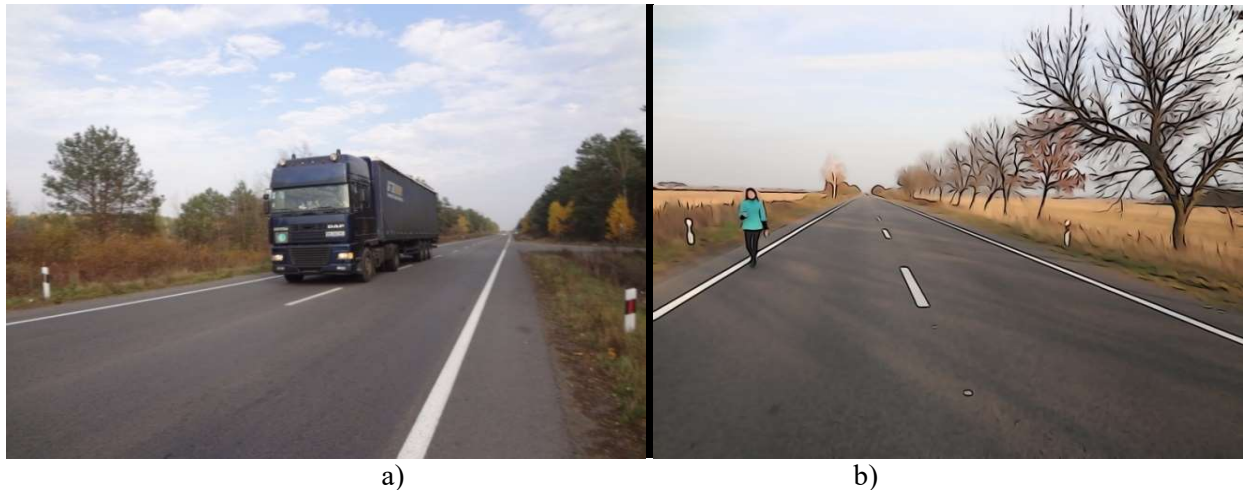


Figure 4 – General view of the section No.1(a) (with circulation of freight traffic) and No.2 (24.10.2013) (b)

Рисунок 4 – Загальний вигляд ділянки № 1(a) (з рухом ВВТЗ) та № 2 (24. 10.2013 р.) (б)

#### **Determination of the elastic deflection of asphalt concrete pavement**

Tests were performed in August 2016 using plate bearing method. This method has been improved and today, despite the relatively low productivity, is one of the most precise for determination of elastic deflection and, accordingly, modulus of deformation and modulus of elasticity of grained layers. Study in general was composed of few stages: 1 – gathering of data about the road pavement structure; 2 – performance of visual and instrumental inspections over the road pavement condition by strength and deformability; 3 – office processing and analysis of obtained results. In order to change elastic deflection of pavement surface to the general modulus of elasticity of road pavement it is used a known dependence according to VBN V.2.3-218-186-2004 “Non-rigid road pavement”.



Figure 5 – Longitudinal crack along the pavement axis on the section PK 308+577 (it is seen a difference between SMA structure) modified with synthetic wax (left) and natural bitumen (right)

Рисунок 5 – Поздовжня тріщина по осі покриття на ділянці ПК308+577 (видно різницю в текстурі ЩМА) модифікованого синтетичним воском (зліва) та природним бітумом (вправа)



Figure 6 – Transverse crack in the SMA layer modified with synthetic wax, which is positioned perpendicular to the longitudinal crack along the pavement axis

Рисунок 6 – Поперечна тріщина в шарі із ЩМА модифікованого синтетичним воском, яка розташована перпендикулярно до поздовжньої тріщини по осі покриття



Figure 7 – Measurement of elasticity modulus of road pavement with plate equipment “Infratest”, 2016

Рисунок 7 – Вимірювання модуля пружності дорожнього одягу і штамповим обладнанням "Infratest", 2016 р



Figure 8 – General view of the section 2016 p

Рисунок 8 – Зовнішній вигляд ділянки 2016 р

Modulus of elasticity of soil or material in uniform structure, as well as general modulus of elasticity of layered structure, tested with load by means of rigid plate, equals to

$$E_{gen} = 0.25 \cdot \pi \frac{pD(1-\mu^2)}{l} \cdot 10^{-3}, \text{ MPa}, \quad (1)$$

where

- $p$  - maximum (calculated) pressure from the plate, MPa;
- $D$  - diameter of rigid plate,  $D = 0.30$  m;
- $\mu$  - Poisson's ratio (for soils of subgrade  $\mu = 0,35$ , for base materials  $\mu = 0,25$ , and when calculating general modulus of elasticity  $\mu = 0,3$ );
- $l$  - elastic deformation, which corresponds to this load, mm.

In order to measure elastic deflection, it was used one beam by loading the structure through the rigid plate. Results of inspection on Kyiv-Kovel-Yahodyn Motorway are shown in the table 6 below.

Table 6 – Results of determination of elastic deflection of the road pavement of Kyiv-Kovel-Yahodyn Motorway, km 307 – km 330

Таблиця 6 – Результати визначення пружного прогину дорожнього одягу ділянки а/д Київ-Ковель-Ягодин, км 307 – км 330 ( $t_{pavem.} = 40^\circ \text{C}$ )

| No. | Location of measurement point |     | Carriageway | Value of deflection of the stamp under the load, mm | Value of deflection of the stamp after removal of the load, mm | Elastic deflection, mm (measured at existing temperature) | Elastic deflection, mm (in conversion to $+10^\circ \text{C}$ ) in cm | Static modulus of elasticity, MPa | Note        |
|-----|-------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
|     | km                            | +   |             |                                                     |                                                                |                                                           |                                                                       |                                   |             |
| 1   | 307                           | 100 | left        | 4.81                                                | 3.55                                                           | 1,26                                                      | 0,076                                                                 | 170                               | 29.08.2016  |
| 2   | 307                           | 220 | left        | 6.60                                                | 5.28                                                           | 1.32                                                      | 0.079                                                                 | 162                               | rut         |
| 3   | 307                           | 220 | left        | 3.58                                                | 2.59                                                           | 0.99                                                      | 0.059                                                                 | 216                               | without rut |
| 4   | 308                           | 577 | left        | 5.26                                                | 4.45                                                           | 0.81                                                      | 0.049                                                                 | 265                               |             |
| 5   | 308                           | 577 | right       | 5.43                                                | 4.65                                                           | 0.78                                                      | 0.047                                                                 | 275                               |             |
| 6   | 309                           | 000 | left        | 4.83                                                | 4.00                                                           | 0.83                                                      | 0.050                                                                 | 258                               |             |
| 7   | 309                           | 000 | left        | 5.80                                                | 4.63                                                           | 1.17                                                      | 0.070                                                                 | 183                               |             |

**Analysis of defects on the pavement section.** In the course of studies conducted on the section from km 308+577 to km 309+295 of M-07 Motorway the following defects in asphalt concrete pavement have been identified: longitudinal cracks, transverse, attenuated, diagonal cracks which are opened to the entire width of the structure. Left lane (if moving from km 308 toward km 309) was paved with natural bitumen additive and 17 cracks have been formed since putting into operation in 2011. Right lane (if moving from km 308 toward km 309) was paved with additive of synthetic wax whereon 71 cracks have been formed since the reconstruction. Longitudinal cracks at the lanes themselves have not been detected, except for the crack along the axis to almost entire section of the pavement, which separated layers paved with different additives. Table 7 and Fig.s 6-7 show static processing of data of determination of the distance between cracks on the sections with synthetic wax and natural bitumen additives.

**Conclusions and References.** According to the results of studies it was determined that when adding the natural bitumen, softening point increases linearly by 0.7°C when adding 1% of the natural bitumen, and penetration decreases logarithmically. Compressive strength raises 1.3-1.7 times at the temperature 20°C and 1.4-2 times at the temperature 50° for the natural bitumen and synthetic wax accordingly.

Linear dependence of the compressive strength increase at a temperature +20°C and +50°C for the asphalt concrete of type A against content of the natural bitumen Selenizza SLN 120 in percent by mass from the mass of bitumen BND 60/90 is observed.

During visual inspection of the pavement condition it was identified that at the section with SMA-20 modified with natural bitumen there generated 7 times less defects than at the section of pavement modified with synthetic wax.

This evidences that in this case asphalt concrete pavement modified with natural bitumen is more efficient than the pavement modified with synthetic wax.

Table 7 – Statistic data about quantity and frequency of cracks on the surface

Таблиця 7 – Статистичні дані кількості та частоті тріщин на покритті

| Additive                           | Synthetic wax<br>(transverse cracks) | Natural bitumen<br>(transverse cracks) | Transverse cracks to the entire width of the pavement |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Quantity of data                   | 71                                   | 17                                     | 11                                                    |
| Maximum distance between cracks, m | 50.00                                | 262.50                                 | 262.50                                                |
| Minimum distance between cracks, m | 1.00                                 | 3.00                                   | 3.00                                                  |
| Scale                              | 49.00                                | 259.50                                 | 259.50                                                |
| Average distance between cracks, m | 10.00                                | 48.47                                  | 61.27                                                 |
| Standard                           | 9.387                                | 77.726                                 | 88.385                                                |
| Variation coefficient              | 93.87                                | 160.36                                 | 144.25                                                |

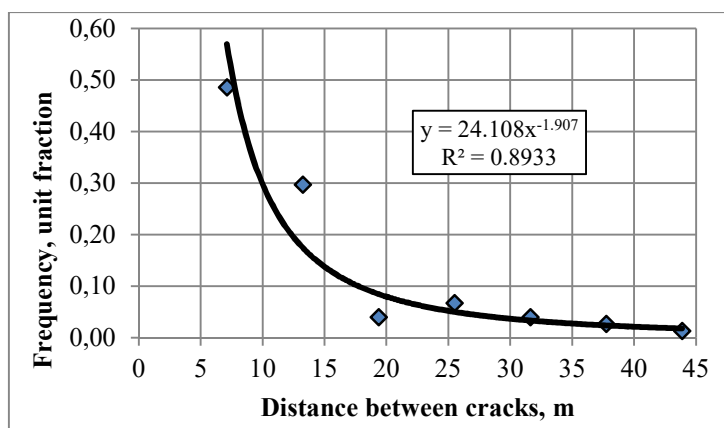


Figure 9 – Frequency of falling into determined interval (distances between cracks) for the section with synthetic wax additive

Рисунок 9 – Частість попадання в заданий інтервал (відстані між тріщинками) для ділянки з добавкою синтетичного воску

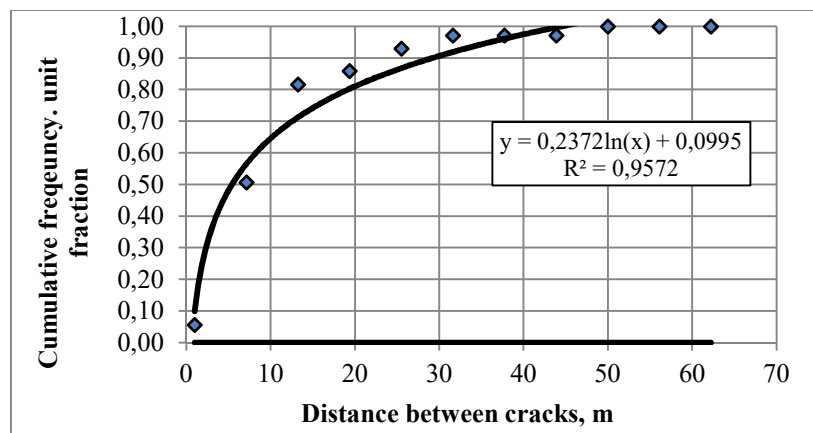


Figure 10 – Cumulative curve of distribution of distances between cracks for the section with synthetic wax additive

Рисунок 10 – Інтегральна крива розподілу відстані між тріщинами для ділянки з добавкою синтетичного воску

### References

1. Zolotarev V.A Bitumens, modified with polymers and asphaltic polymeric concrete / V.A. Zolotarev // *Dorozhnaya Tekhnika*. 2009. P. 16 – 23.
2. Zhdaniuk V.K. Research of the influence of technical process mix regimes on the properties of bitumens with additive «Licomont BS 100» / V.K. Zhdaniuk, R.B. Shrestkha, D.Yu. Kostyn, V.A. Yashyn // *KhNADU / Scientific technical composite book*. 2009. № 90. P. 238–242.
3. Zolotarev V.A., Kudriavtseva S.V., Yefriemov S.V. Influence of joint adding polymers and adhesion additives on the properties of bitumens // *Vestnik KhNADU*. 2008.
4. Gameliak I.P. Fundamentals for assurance of reliability of road pavement structures: dissertation of D.Sc. in engineering: 05.22.11 / National Transport University. K., 2005. 340 p.
5. Koroliev I.V. Road warm asphalt concrete. Training manual for institutions of higher learning / I.V. Koroliev. – K.: Vyshaya shk., 1975. 155 p.
6. Bocharov V.S. Bitumen-contained rocks in road construction: technology and mechanization. – M.: Transport, 1987. – 190 p.
7. Dmitrichenko M.F., Dmytriiev M.M., Gameliak I.P., Raikovskiy V.F., Yakymenko Ya.M. Reliability of road pavement structures. – Training manual. K.: NTU, 2012. 206 p.
8. DSTU B V.2.7-81-98 Road petroleum viscous bitumens. Method for determination of cohesion with surface of glass and stone materials. Technical conditions.

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАТОРІВ БІТУМУ ТА АСФАЛЬТОБЕТОНУ ПРИ РЕМОНТІ МАГІСТРАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Гамеляк Ігор Павлович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аеропортів, Національний транспортний університет, e-mail: gip65n@gmail.com tel. +380503524124, Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

**Палешев Олексій Сергійович** - аспірант кафедри аеропортів Національного транспортного університету, e-mail: paleshev.aleksey@gmail.com, , tel. +380633030640 Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5939-2649>

**Ренейська Світлана Володимирівна** - аспірант кафедри аеропортів Національного транспортного університету. e-mail: sv\_dortek@ukr.net, tel. +380674305485 Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8702-3330>

**Анотація.** У даній роботі наведені дані експериментально-аналітичних дослідження впливу модифікаторів на фізико-механічні властивості асфальтобетону та на властивості бітуму. Визначена ефективність використання синтетичного воску та природного бітуму при реконструкції автомобільної дороги.

Головним питанням даного дослідження стало визначення ефективності модифікаторів бітуму та асфальтобетону, а саме встановлення причини руйнування покриття влаштованого при введенні двох різних добавок в асфальтобетон під час реконструкції. Ділянки які влаштовані суміжно одна одній та прослужили однаковий строк і на які здійснюються відносно однакові систематичні навантаження.

Обстеження було направлено на визначення ефективності модифікаторів бітуму та асфальтобетонної суміші, що значною мірою може вплинути на економічну вигідність застосування добавок, оскільки дає поняття про те як змінюються фізико-механічні характеристики вихідного матеріалу в залежності від відсотку вмісту добавок та їх вплив на довговічність покриття.

За результатами досліджень встановлено, що при добавці природного бітуму температура розм'якшення зростає за лінійним законом на 0,7°C при додаванні 1% природного бітуму а penetрація зменшується за логарифмічним законом. Міцність на стиск зростає в 1,3 – 1,7 рази при температурі 20°C та 1,4 – 2 при температурі 50°C відповідно для природного бітуму та синтетичного воску. Спостерігається лінійна залежність росту міцності на стиск при температурі 20°C та +50°C асфальтобетону типу А від вмісту природного бітуму Selenizza SLN 120 у відсотках за масою від маси бітуму БНД 60/90.

Під час проведення візуального обстеження стану покриття було виявлено, що на ділянці з ЩМА 20 модифікованого природним бітумом утворилось в 7 разів менше дефектів, ніж на ділянці конструкції, модифікованого синтетичними восками.

Це свідчить про те, що в даному випадку асфальтобетонне покриття, модифіковане природним бітумом, виявилось більш ефективним, ніж покриття модифіковане синтетичним воском.

**Ключові слова:** модифікатор, природний бітум, асфальтобетон.

#### Перелік посилань

1. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтополимербетоны / В.А. Золотарев // Дорожная техника. 2009. С. 16–23.
2. Жданюк В.К. Исследование влияния технологических режимов перемешивания на свойства битумов с добавкой «Licomont BS 100» / В.К. Жданюк, Р.Б. Шрестха, Д.Ю. Костин, В.А. Яшин // ХНАДУ / Научно-технический сборник. 2009. №90. С. 238–242.
3. Золотарев В.А., Кудрявцева С.В., Ефремов С.В. Влияние совместного введения полимеров и адгезионных добавок на свойства битумов // Вестник ХНАДУ. 2008.
4. Гамеляк І.П.. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис... д-ра техн. наук: 05.22.11 / Національний транспортний ун-т. - К., 2005.
5. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон: Учеб. пособие для вузов / И.В. Королев. – К.: Высшая шк., 1975. 155 с.
6. Бочаров В.С. Битумосодержащие породы в дорожном строительстве: технология и механизация. – М.: Транспорт, 1987. 190 с.
7. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу. - Навч. посібник. К.: НТУ, 2012. 206 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-81-98 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення по-казника зчеплення з поверхнею скла і кам'яних матеріалів. Технічні умови.

## DETERMINATION OF HIGHWAY'S EFFECTIVE FUNCTIONING PERIOD

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ



**Dodukh Kateryna Myhaylivna**, CTS, Docent at the Department of Road Design, Geodesy and Land Management. National Transport University.

<https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>



**Palchyk Anton Dmytrovych**, postgraduate student of department of tourism, National Transport University

<https://orcid.org/0000-0002-1467-3658>

**Summary.** The article considers the question of determining the functioning of the motorway during the life cycle from the beginning of construction to its reconstruction. The life cycle is to ensure the safe and economical use of road transport on the road or in its area, characterized by maximum traffic intensity without changing the speed of traffic in these road conditions. The paper proposes the determination of the bandwidth of the lane, the throughput of the highway, the practical bandwidth of the lane, the throughput of crossings and adjacencies, the maximum intensity of the lane and the maximum intensity of traffic by the section of the highway. At the maximum values of the traffic intensity of the road section, the necessity of partial or complete reconstruction of the road is determined. Partial reconstruction involves increasing the maximum intensity of the race on the course of changing the parameters of intersections and adjacencies.

In case changing the parameters of crossings and adjoining does not increase the maximum intensity of traffic on races - the issue of transfer to the higher category of road or increase in the number of lanes is considered.

**Keywords:** bandwidth, reconstruction, maximum intensity, lane, racing.

**Introduction.** As a result of an increase in traffic intensity on Ukrainian highways, there was a need for an analysis of the traffic conditions, the development of measures for their improvement and the definition of the functioning of the motorway during the life cycle from the beginning of construction to its reconstruction.

The most perfect method for solving these problems is to assess the conditions of movement and ensure maximum traffic intensity on the sections of the highway. Since the traffic of cars takes place in different road conditions, the maximum intensity of traffic is used for estimation in the current road conditions. The maximum intensity of movement is characterized by a practical throughput ability of the lane and the throughput of crossings and adjacencies. On the basis of this data, the issue of partial or complete reconstruction of the road is solved. Existing methods for determining the practical bandwidth of the lane, the maximum intensity of traffic on the section of the highway give ambiguous results that need improvement.

When justifying the need for road reconstruction, the development of a project or the scheme of traffic organization, the calculation of traffic flow control, automated systems for traffic management, analysis of the condition of highways, the value of maximum intensity of motion is used. The maximum intensity of the motorway should be considered in conjunction with the practical bandwidth of the traffic lanes and the

throughput of crossings and adjacencies. This approach will help to decide on the full or partial reconstruction of the highway, including and changing the parameters of crossings and adjacencies.

**Purpose and methods.** The main purpose of the work is to determine the maximum intensity of traffic by road. The road is divided into fields. The road section is chosen between major intersections and adjacencies. Large crossings and adjacencies are those where traffic flows are redistributed.

To accomplish the task, the theoretical substantiation of the method of calculating the practical bandwidth of the lane, the maximum intensity of traffic on the section of the highway and the throughput of interconnections and adjacencies in one level of different types must be provided.

On the basis of the maximum traffic intensity of the road section, measures are being developed to increase it and the period of effective functioning of the highway is determined.

The period of effective functioning of the road is the period of the life cycle of the road from construction to reconstruction, for which the intensity of traffic on the highway reaches the value of maximum intensity of movement.

**Results and explanation.** The traffic flow on the motorway can vary from free to column-type at any speed, that is, for each value of the speed of movement, different modes of motion of the cars may correspond. With increasing intensity and constant speed of motion, the motion mode can vary from free to column.

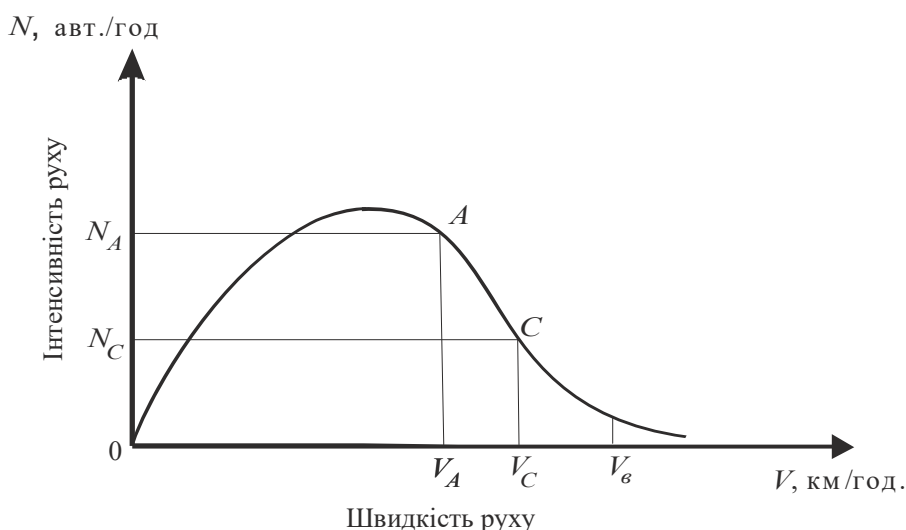


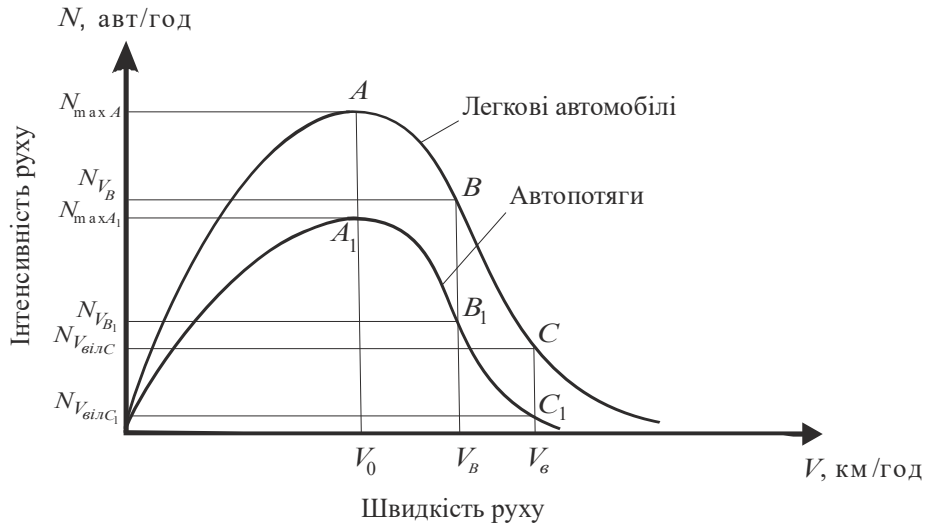
Figure 1 – Dependence "intensity - speed" [1]  
 Рисунок 1 – Залежність "інтенсивність - швидкість" [1]

Out of schedule (fig. 1) It can be seen that each value of the velocity corresponds to a certain value of maximum intensity of motion. For example, at the point A, the maximum intensity of the motion of the  $N_A$  corresponds to the velocity  $V_A$ , and at the point C, the maximum intensity of the motion  $N_C$ , which will be less than  $N_A$ .

The maximum intensity of traffic on the road is calculated on the basis of the maximum intensity of the traffic lane of the highway, which is reduced due to crossings and adjacencies on the same level that are on this road.

The intensity of the movement may vary from a minimum to a maximum value with a defined composition of the traffic flow. The minimum value of the traffic intensity corresponds to the column traffic of vehicles at an average free-speed. The maximum value of the intensity of the movement corresponds to the intensity of motion at a minimum interval (optimal speed). Fig. 2 shows a graph of changes in maximum traffic intensity, depending on the speed of traffic flow.

The ABC line and the A1B1C1 line describe the change in the maximum intensity of traffic for cars of the minimum and maximum lengths and the change in the maximum traffic intensity from the minimum to the maximum value for a given composition of the traffic flow. The dependencies for the different composition of the traffic flow will be located between the lines ABC and A1B1C1 in the zone, which is limited by these lines and the values of the minimum and maximum values.



$V_0$  – average speed corresponding to bandwidth;

$V_с$  – average free-movement speed;

$V_B$  – average speed at the point B & B<sub>1</sub>;

$N_{maxA}$  – maximum traffic intensity corresponding to passenger car capacity;

$N_{maxA1}$  – maximum traffic intensity corresponding to the capacity for motor trains;

$N_{VсC}$  – maximum traffic intensity at passenger speed for passenger cars;

$N_{VсC1}$  – maximum intensity of movement at the speed of free movement for car trains.

Figure 2 – Chart of the maximum intensity variation depending on the speed of the traffic and the composition of the traffic flow

Рисунок 2 – Діаграма зміни максимальної інтенсивності залежно від швидкості руху та складу транспортного потоку

To study the influence of the dynamic size on the maximum intensity of motion, one can consider different variants of the movement of cars in the group band of the highway.

1. To study the effect of the dynamic dimension on the maximum intensity of motion, one can consider different variants of car movement on the highway. (Fig. 3 a)

In the first case, there is no free space between the dynamic dimensions ( $\Delta L_i = 0$ ):

$$\Delta L_i = (d_i + l_i) - D_i = 0, \quad (1)$$

where  $d_i$  – distance between cars;

$l_i$  – length of the i-th car, m

$D_i$  – dynamic factor of the i-th car

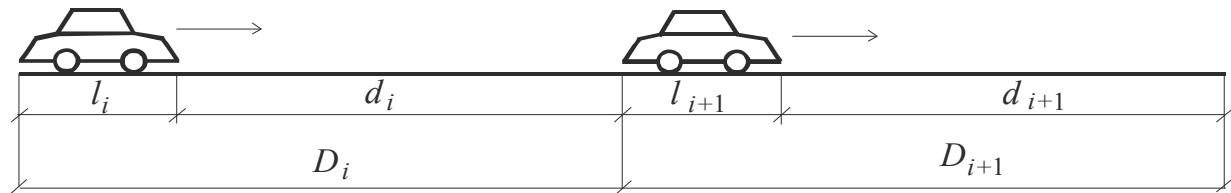
In the second case, there is free space between two adjacent dynamic dimensions ( $\Delta L_i > 0$ ):

$$\Delta L_i = (d_i + l_i) - D_i. \quad (2)$$

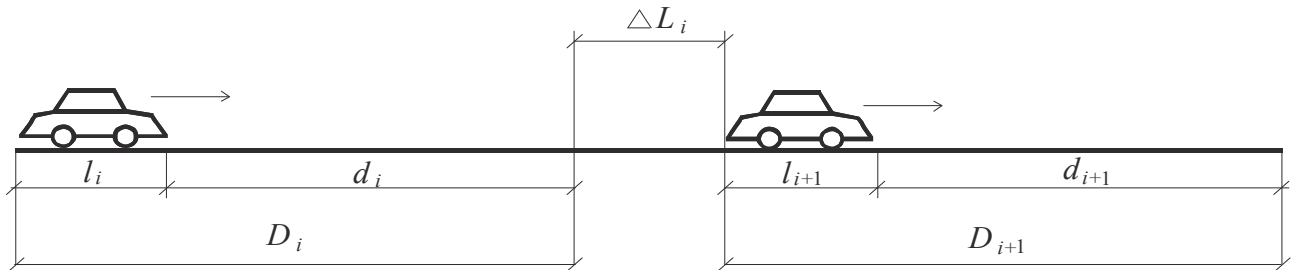
In the third case there is an overlay of dynamic dimensions, when the rear car reduces the distance ( $\Delta L_i < 0$ ):

$$\Delta L_i = D_i - (d_i + l_i). \quad (3)$$

The variation of the intensity of motion at different values of dynamic dimensions is shown in the Fig. 4.



2. The driver, at the same speed, can withstand a greater distance. As a result, the intensity of the movement decreases (Fig. 3 b).



3. The driver, at the same speed, can withstand a smaller distance. As a result, the traffic intensity increases, but the danger of the car's movement increases and the movement is carried out in the risk zone. (Fig. 3 c).

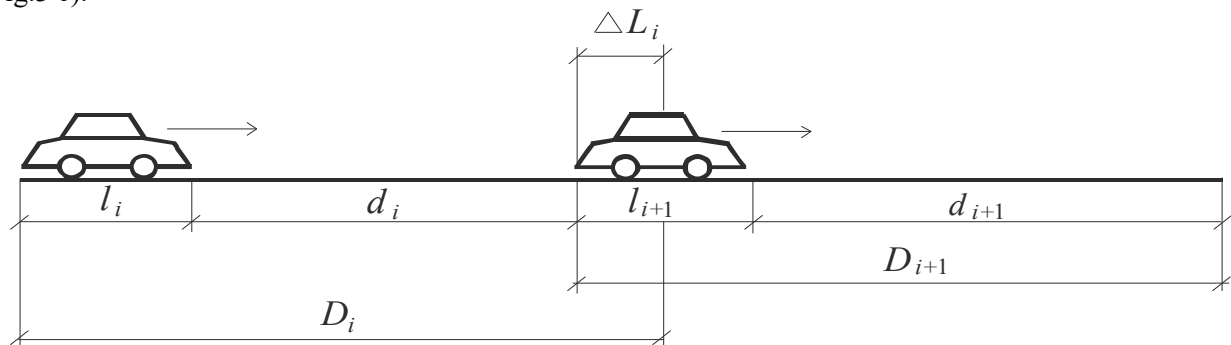


Figure 3 – Possible variants of dynamic dimensions in the traffic flow at the column movement of cars.

Рисунок 3 – Можливі варіанти динамічних відстаней в транспортному потоці при колонному русі

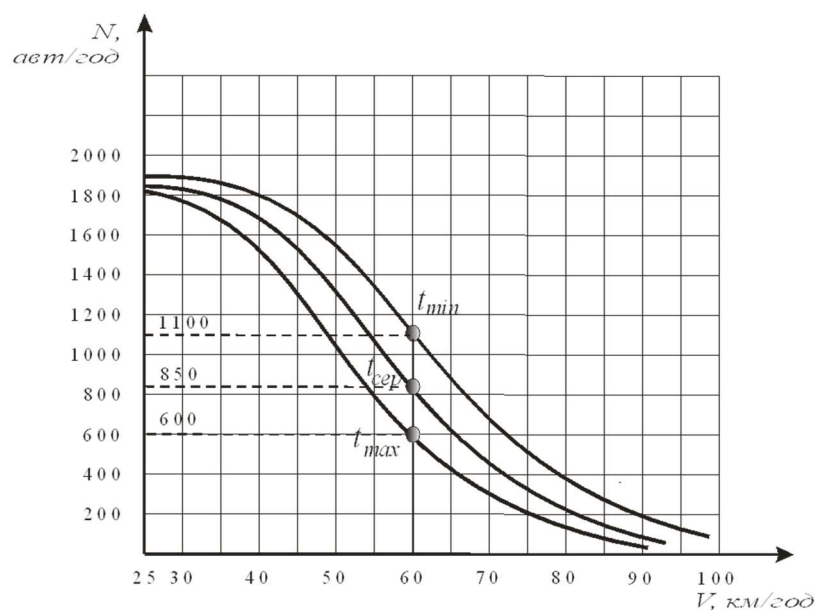


Figure 4 – Dependence of the intensity of movement on dynamic dimensions at a given speed  
Рисунок 4 – Залежність інтенсивності руху від динамічних відстаней при заданій швидкості

As can be seen from the graph, at a speed of 60 km / h, the intensity can be 600, 850 or 1100 car / h, depending on the size of the dynamic size. Accordingly, the interval between cars moving at a speed of 60 km / h can be 6, 4.2 or 3.3 s. At maximum interval between cars it is possible to increase the intensity of traffic to the intensity of motion, which corresponds to the average interval. And with a minimum interval of traffic between cars, the flow of traffic occurs in the risk zone. Consequently, in studies it is necessary to determine the average value of the interval between cars, which characterizes the safe traffic flow and corresponds to the maximum intensity of the traffic lane of the highway.

Consequently, the maximum intensity of the traffic in the road strip varies from the minimum to the maximum value depending on the composition of the traffic flow, which in turn depends on the average length of the car in the group. And also, the maximum traffic intensity of the road changes from the minimum to the maximum for a certain composition of the traffic flow. Consequently, the "intensity-speed" dependencies will be in the defined zone and will have limitations on the speed and average length of the car.

The main factors that are taken into account in determining the intensity of traffic are the average speed of the traffic flow and the average length of the car in it.

The "intensity-speed" dependence will have the form:

$$P = f(V, d, l_a) = f(V, D) \quad (4)$$

where  $V$  – average speed of traffic flow;

$d$  – distance between cars;

$l_a$  – average length of the car in the traffic flow;

$D$  – dynamic size.

On the basis of the processing of experimental data, the "intensity-speed" dependence is obtained as a polynomial line of the second degree. The equation describing the dependence of "intensity-speed" has the form:

$$N = Ax^2 + Bx + C, \quad (5)$$

where  $A, B, C$  – coefficients depending on the average length of the car.

Coefficients  $A, B, C$  characterize the average length of the car in the traffic flow and are represented by the following dependencies:

$$A = -0,0026 \cdot l_a^2 + 0,0538 \cdot l_a - 0,4678, \quad (6)$$

$$B = 0,0277 \cdot l_a^2 - 0,1752 \cdot l_a + 10,182, \quad (7)$$

$$C = 18,362 \cdot l_a^2 - 438,84 \cdot l_a + 3069. \quad (8)$$

As a result of data processing observations, the dependence of "intensity-speed" was obtained taking into account the composition of the transport stream in the form:

$$N = (-0,0026 l_a^2 + 0,0538 l_a - 0,4678) V^2 + (0,0277 l_a^2 - 0,1752 l_a + 10,182) V + (18,362 l_a^2 - 438,84 l_a + 3069), \quad (9)$$

where  $l_a$  – car length, m;

$V$  – average speed, km/hour.

Crossing and adjoining in one level determine the maximum intensity of movement as a separate section of the road, as well as the whole road in general. The capacity of crossings and interconnections in one level depends on the category of intersecting or adjacent roads, the composition of traffic flows, average speeds, car maneuvers, weather conditions and the percentage of left-turning vehicles.

The basic element of calculating the practical capacity of crossings and adjacencies is the time required to perform a maneuver with a car considering the safety of motion.

Analysing the maneuvers of cars at simple intersections and couplings:

- turn right from the secondary road to the main road;

- turn left from the secondary road to the main one;
- turn to the right of the main road to the secondary;
- turn to the left of the main road to the secondary;
- crossing the main road.

The mathematical dependences for calculating the interval on the main road and the time to perform maneuvers in determining the throughput of crossings and adjoints are given in Table. 1.1.

The example of calculating the capacity of crossing the highways Kyiv - Sumy and Ichnia - Priluki and maximum traffic intensity on the road section

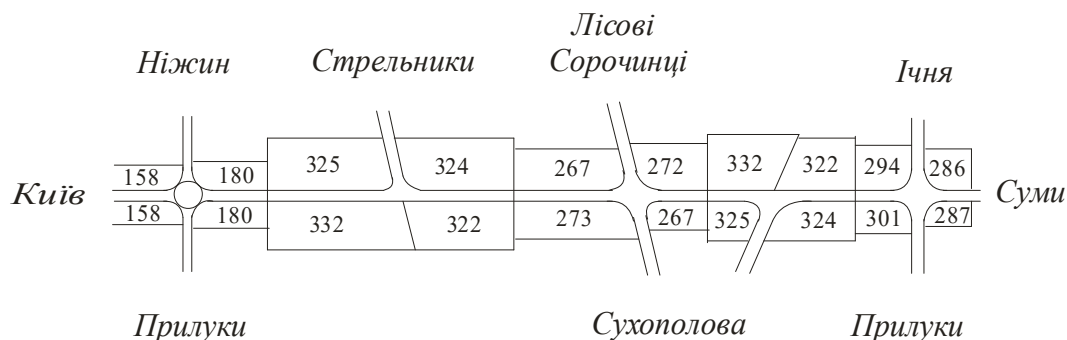


Figure 5 – The general scheme of maximum intensity of the section of the highway Kiev - Sumy taking into account crossings and adjacencies

Рисунок 5 – Загальна схема максимальної інтенсивності руху ділянки автомобільної дороги Київ - Суми з урахуванням пересічень та примикань

Table 1 – Distance on the main road and time to perform maneuvers in determining the maximum intensity of traffic at crossings and adjacencies

Таблиця 1 – Відстань на головній дорозі та час виконання маневрів при визначенні максимальної інтенсивності руху на пересіченнях та примиканнях

| №                                            | Car maneuver                            | Time for maneuver (interval)                 | Interval on the main road  |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| 1                                            | 2                                       | 3                                            | 4                          |
| Crossing without transition-high-speed bands |                                         |                                              |                            |
| 1                                            | Rotate to the right of the main road    | $t_{\text{зал}} = \frac{V_p - V_3}{\bar{a}}$ | $T = t_{\text{min}}$       |
| 2                                            | Rotate to the left of the main road     | $t_{\text{зал}} = \frac{V_p - V_3}{\bar{a}}$ | $T = t_{\text{min}}$       |
| 3                                            | Turn to the right of the secondary road | $t_p = \frac{V_p}{\bar{a}}$                  | $T = t_p + t_{\text{min}}$ |
| 4                                            | Turn to the left of the secondary road  | $t_p = \frac{V_p}{\bar{a}}$                  | $T = t_p + t_{\text{min}}$ |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                                       | 3                                      | 4               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Intersection of the main road           | $t_{nep} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$ | $T = t_{\min}$  |
| Cross-speed transitions with high-speed bands                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                         |                                        |                 |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rotate to the right of the main road    | $t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$      | $T = t_{\min}$  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rotate to the left of the main road     | $t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$      | $T = t_{\min}$  |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Turn to the right of the secondary road | $t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$      | $T = 2t_{\min}$ |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Turn to the left of the secondary road  | $t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$      | $T = 2t_{\min}$ |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Intersection of the main road           | $t_{nep} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$ | $T = t_{\min}$  |
| <b>Note:</b> $V_p$ – the estimated speed of the traffic lane of the highway, m/sec; $V_3$ – speed at the congress during maneuvering, m/sec; $a$ – average acceleration value, m/sec <sup>2</sup> ; $B$ – width of the roadway, m; $R$ – radius of the congress, m; $b$ – width of the road lane, m; $t_{\min}$ – average safe interval in the column movement of cars for this average speed, sec; $t_p$ – time is necessary for acceleration to the calculated speed of movement $V_p$ on the road, sec. |                                         |                                        |                 |

Table 2 – Measures to increase the maximum intensity of traffic on the road  
Таблиця 2 – Заходи щодо збільшення максимальної інтенсивності руху на дорозі

| Intensity of traffic on the main road                                   | Measures to increase the maximum intensity of motion on the adjacency                                                                                                                                                                 | Load factor of the system $K_a$ | The coefficient of increasing the maximum intensity of movement $K_N$ |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                       | 2                                                                                                                                                                                                                                     | 3                               | 4                                                                     |
| Direct direction                                                        |                                                                                                                                                                                                                                       |                                 |                                                                       |
| $N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$                               | No measures are foreseen                                                                                                                                                                                                              | $< 0,5$                         | 1,0                                                                   |
| $\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N \leq \frac{3600}{t_{\min}}$ | 1. Arrangement of the PSP for the turn to the right of the secondary road to the main;<br>2. Arrangement of the PSP for the turn to the right of the main road to the secondary (on condition, what $t_{\text{головне}} > t_{\min}$ ) | 0,5 – 0,9                       | 1,2 – 1,4                                                             |
| $N > \frac{3600}{t_{\min}}$                                             | Arrangement of solutions at different levels                                                                                                                                                                                          | 0,9 – 0,95                      | 1,4– 1,6                                                              |
| $N > \frac{3600}{t_{\min}}$                                             | Transfer the road to the highest category                                                                                                                                                                                             | $> 0,95$                        | $> 1,6$                                                               |

| 1                                                                    | 2                                                                                                 | 3          | 4         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Reverse direction                                                    |                                                                                                   |            |           |
| $N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$                            | No measures are foreseen                                                                          | < 0,5      | 1,0       |
| $\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N < \frac{3600}{t_{\min}}$ | Arrangement of the PSP for the turn to the left of the secondary road                             | 0,5 – 0,9  | 1,2 – 1,4 |
| $N = \frac{3600}{t_{\min}}$                                          | Arrangement of the auxiliary belt to perform a turn to the left of the main road to the secondary | 0,9 – 0,95 | 1,4 – 1,6 |
| $N > \frac{3600}{t_{\min}}$                                          | Arrangement of solutions at different levels                                                      | 0,95       | 1,4– 1,6  |
| $N > \frac{3600}{t_{\min}}$                                          | Transfer the road to the highest category                                                         | > 0,95     | > 1,6     |

Table 3 – Measures to increase the maximum intensity of traffic of the considered section of the highway Kyiv – Sumy

Таблиця 3 – Заходи щодо збільшення максимальної інтенсивності руху ділянки автомобільної дороги Київ - Суми

| № | Crossing and adjoining on the section of the Kyiv-Sumy highway | Measures with increasing traffic intensity |                                                |                                              |
|---|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|   |                                                                | to 3100 cars/day                           | 3100-6000 cars/day                             | від 6000 cars/day                            |
| 1 | Junction with highway Nizhyn - Pryluky                         | The activities are not overlooked          | Arrangement of an additional strip on the ring | Arrangement of solutions at different levels |
| 2 | Adjoining the road from the village Strel'nyky                 | The activities are not overlooked          | The activities are not overlooked              | Arrangement of transition high-speed bands   |
| 3 | Junction with highway Lisovi Sorochyntsi - Sukhopolova         | The activities are not overlooked          | The activities are not overlooked              | Arrangement of transition high-speed bands   |
| 4 | Adjoining the road from the village Sukhopolova                | The activities are not overlooked          | The activities are not overlooked              | Arrangement of transition high-speed bands   |
| 5 | Junction with highway Ichnya-Pryluky                           | The activities are not overlooked          | The activities are not overlooked              | Arrangement of solutions at different levels |

### Conclusion

1. The method of determining the effective functioning of the motorway or its area on the basis of determining the maximum intensity of traffic, taking into account the composition of the traffic flow and the throughput of crossings and adjacencies is presented in the work.

2. On the basis of the calculated data, measures are being developed to increase the maximum intensity of traffic and to determine the period of effective functioning of the highway or its area.

### References

1. Dodukh K.M., Designing serpentine / A.M. Palchyk, K.M. Dodukh // Problems of transport: a collection of scientific works. – 2009. – Kiev. – №6 – C. 184 – 190.

2. Dodukh K.M., Propuskna zdatnist' smugy ruhu avtomobil'noyi dorogy / A.M. Palchyk, K.M. Dodukh // Problemy transportu: zbirnyk naukovykh prats. – 2010. – Kiev. – №7 – С. 94 – 100.
3. Dodukh K.M., Propuskna zdatnist perekhreshchen avtomobilnykh dorih v odnomu rivni / K.M. Dodukh // Problemy transportu: zbirnyk naukovykh prats. – 2010. – Kiev. – №7 – С. 101 – 105.
4. Dodukh K.M., Propuskna zdatnist avtomobilnykh dorih / A.M. Palchyk, K.M. Dodukh, N.V. Neizvestna // Materialy mizhnarodnoi naukovykh tekhnichnoi konferentsii «Proektuvannia, budivnytstvo i ekspluatatsiia nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv» – Kharkiv: KHNADU, 2010. – С. 38 – 43.
5. Dodukh K.M., Propuskna zdatnist smuhy rukhu avtomobilnoi dorohy / A.M. Palchyk, K.M. Dodukh // Materialy mizhnarodnoi naukovykh praktichnoi konferentsii «Suchasni kompiuterno-innovatsiini tekhnolohii proektuvannia, budivnytstva, ekspluatatsii avtomobilnykh dorih ta aerodromiv» – Kharkiv. KHNADU, 2012. – С. 213 – 215.
6. Palchyk A.M. Transportni potoky. K. HTU. 2010 – С. 171.
7. Dodukh K.M. Vyznachennia serednoi shvydkosti vilnoho rukhu transportnoho potoku. Kiev. NTU, 2013. № 69. С.188.
8. Fylypov V.V., Smyrnova N.V. Modeliuvannia transportnykh potokov na dorohakh II-IV katehoryi- Kharkiv: KHNADU. 2014 -200 с.

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

**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.** В роботі розглянуто питання визначення функціонування автомобільної дороги протягом життєвого циклу від початку будівництва до її реконструкції. Під життєвим циклом розуміється забезпечення безпечного та економічно вигідного руху автомобільного транспорту по дорозі або її ділянці, що характеризується максимальною інтенсивністю руху без зміни швидкості руху у даних дорожніх умовах. У роботі запропоновано визначення пропускної здатності смуги руху, пропускної здатності автомобільної дороги, практичної пропускної здатності смуги руху, пропускної здатності перехресть та примикань, максимальної інтенсивності смуги руху та максимальної інтенсивності руху ділянкою автомобільної дороги. При максимальних значеннях інтенсивності руху ділянкою автомобільної дороги визначається необхідність проведення часткової або повної реконструкції дороги. Часткова реконструкція передбачає збільшення максимальної інтенсивності руху на перегонах за рахунок зміни параметрів перехресть та примикань. У випадку коли змінення параметрів перехресть та примикань не підвищує максимальну інтенсивність руху на перегонах – розглядається питання проведення у вищу категорію дороги або збільшення кількості смуг руху.

**Ключові слова:** пропускна здатність, реконструкція, максимальна інтенсивність, смуга руху, перегони.

### Перелік посилань

1. Додух К.М., Проектування серпантин / А.М. Пальчик, К.М. Додух // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. – 2009. – Київ. – №6 – С. 184 – 190.
2. Додух К.М., Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги / А.М. Пальчик, К.М. Додух // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. – 2010. – Київ. – №7 – С. 94 – 100.
3. Додух К.М., Пропускна здатність перехресть автомобільних доріг в одному рівні / К.М. Додух // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. – 2010. – Київ. – №7 – С. 101 – 105.
4. Додух К.М., Пропускна здатність автомобільних доріг / А.М. Пальчик, К.М. Додух, Н.В. Неізнестна // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» – Харків: ХНАДУ, 2010. – С. 38 – 43.
5. Додух К.М., Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги / А.М. Пальчик, К.М. Додух // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів» – Харків: ХНАДУ, 2012. – С. 213 – 215.
6. Пальчик А.М. Транспортні потоки. К. НТУ. 2010 – с. 171.
7. Додух К.М. Визначення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку. К.: НТУ, 2013. № 69. С.188.
8. Филипов, Н.В. Смирнова Моделирование транспортных потоков на дорогах II-IV категорий – Харків: ХНАДУ. – 2014 – 200 с.

## GENETIC ALGORITHM AS OPTIMIZATION METHOD RELATIONSHIP "TIME - COST" TO IMPLEMENT PERFORMANCE BASED ROAD MAINTENANCE CONTRACTS

### ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОШЕННЯ «ЧАС – ВАРТІСТЬ» ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ



**Zavorotnyi S.M.**, National Transport University, **graduate student** of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: seregazavorotnyi@gmail.com, tel. +380950937227, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., of.206,

<https://orcid.org/0000-0002-2139-8877>



**Kharchenko A.N.**, Candidate of technical science, associate professor, National Transport University, associate professor of Department of Transport Construction and Property Management Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., of.206,

<http://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

**Abstract.** In the given article:

- 1) describes the main groups of optimization methods relations «time-cost»;
- 2) determined the most optimal and efficient method of optimization;
- 3) the principle of the genetic algorithm is given;
- 4) the analysis of the work of J. Magalhães-Mendes, as an example of the effectiveness of GA.

Object of study – genetic algorithm.

Objective – perform analysis of genetic algorithm and experience of its use as a method of optimization of relations – «time-cost» to ensure successful implementation of BRMC for the operational maintenance of highways of Ukraine.

Research method – analytical, historical, terminological, functional.

In this article the analysis of groups of methods that are used to optimize the relationship of "time-cost". As a result of analysis, it was determined that genetic algorithm (GA) is the most optimal and effective method of optimization. Analyzed the operation principle of GA. The work of the GA consists of the following steps (blocks): problem statement; creation of the initial population; to calculate or estimate the fitness of a population; selection; crossing; mutation; creation of a new population (NP); check the new population; selection of the final optimal answer. To obtain the final optimal result, a new population (new generation) is a test of fitness again. If the NP meets the set requirements then it is accepted as the final optimal solution. If NP does not meet the requirements of the task - passes the stages of selection, crossing, mutation and test again until meet the requirements of the task. For a better understanding of the effectiveness of using GA for optimization of relations – «time-cost», was performed review and analysis of HA, which was proposed by J. Magalhães-Mendes. The author compares his model with two contemporary models developed by the authors, Gen M., Cheng R. and Zheng D. X. M., Ng S. T., Kumaraswamy M.M. A comparative analysis was performed based on real tasks, which consisted of seven operations, and several modes of execution. In the result of the analysis, it was determined that the model proposed by J. Magalhães-Mendes gave the best answer already for three generations, whereas the other two models in only six. This model solved the task with the lowest ultimate cost, which amounted to 225 500 \$. On the basis of this work it can be concluded that GA can be quite effective

method of solving the optimization problem of the relationship of "time-value", which in turn will allow us to fulfil the BRMC in the road sector of our state.

**Key words:** based road maintenance contracts, operational road maintenance, optimization, genetic algorithm.

#### Formulation of the problem.

For successful use performance based road maintenance contracts (in the future - BRMC) in the maintenance of roads (in the future - MR) of Ukraine, you must perform a thorough and quality optimization the main indicators of the contract. These include the time required for the implementation of the contract and its cost. Optimization of "time-cost" is a very complex process, therefore there is a need to analyse the main methods that are used currently in the industry. In previous studies were analyzed, three major groups of optimization methods: mathematical, heuristic and metaheuristic. As a result of the analysis showed that the most effective and progressive is metaheuristics methods (evolutionary algorithms), namely genetic algorithms (hereinafter GA). For effective use of GA as an optimization method «time-cost» with the aim of introducing BRMC in the field of MR Ukraine, there is a need for a detailed study of its features and properties.

#### Analysis of recent researches and publications.

As a result of the analysis and study of major publications and literary sources, it was determined, that the following researchers used the use of genetic algorithms to substantiate managerial decisions: Trivedi, M.K., Sapan, N., Panchenko, T.V., Yermeev, A.V., Kanin, O.P., Lantukh-Lyashchenko, A.I. and other. However, it was discovered that it is precisely the application of genetic algorithms to justify the relation "time-cost" insufficient attention was paid to researches of domestic scientists.

#### Setting objectives.

The main task of this article is to analyze the foreign experience of using genetic algorithms to optimize the «time-cost» ratio with the purpose of effective use and successful implementation of the BRMS in the road sector of Ukraine.

#### Presenting main material.

To optimize the "time-cost" relationship, there are such basic methods as: mathematical, heuristic and metaheuristic.

Mathematical methods are based on the definition of the main parameters of the problem and solving it using linear, nonlinear, integer, and dynamic programming. The advantage of this method is the high level of accuracy and accountability, the disadvantage is the need for a large number of calculations and significant time costs.

Heuristic methods solve problems using successive algorithms. This method is very simple and allows you to quickly make the necessary decision, but this method lacks mathematical validity, and the lack of global optimization.

Metaheuristic methods, in contrast to the previous ones, are more flexible due to the harmonious combination of the previous ones. This creates the evolutionary algorithm. Such evolutionary algorithms include: genetic algorithm, optimization algorithm "ant colony", optimization of "particle swarm", algorithm "search harmony", multipurpose optimization approach and others. A large number of GA studies indicate its great efficiency in resolving the issue of optimization.

Genetic algorithms are efficient global algorithms and methods of search and optimization, which are based on the laws of natural selection and the further use of the best possible solutions to problems through the accumulation of information from the search space and adaptation to the most optimal option [1,2].

For the first time the GA was proposed by John Holland in 1975, he based his method on the principle of natural selection of Charles Darwin [3]. GA solves a number of such tasks: optimization tasks; scheduling; definition of the shortest way to solve the problem; layout tasks; bioinformatics; creation of artificial life and others [4].

Since GA is based on the principle of natural selection, Charles Darwin, for solving the optimization problem, operates with such basic concepts as population and its chromosomes. That is, the GA operates on a population of individuals in the chromosome (the genotype) which introduced the possible correct answer (phenotype) that is a solution to the problem [4]. The working principle of GA is shown in figure 1.

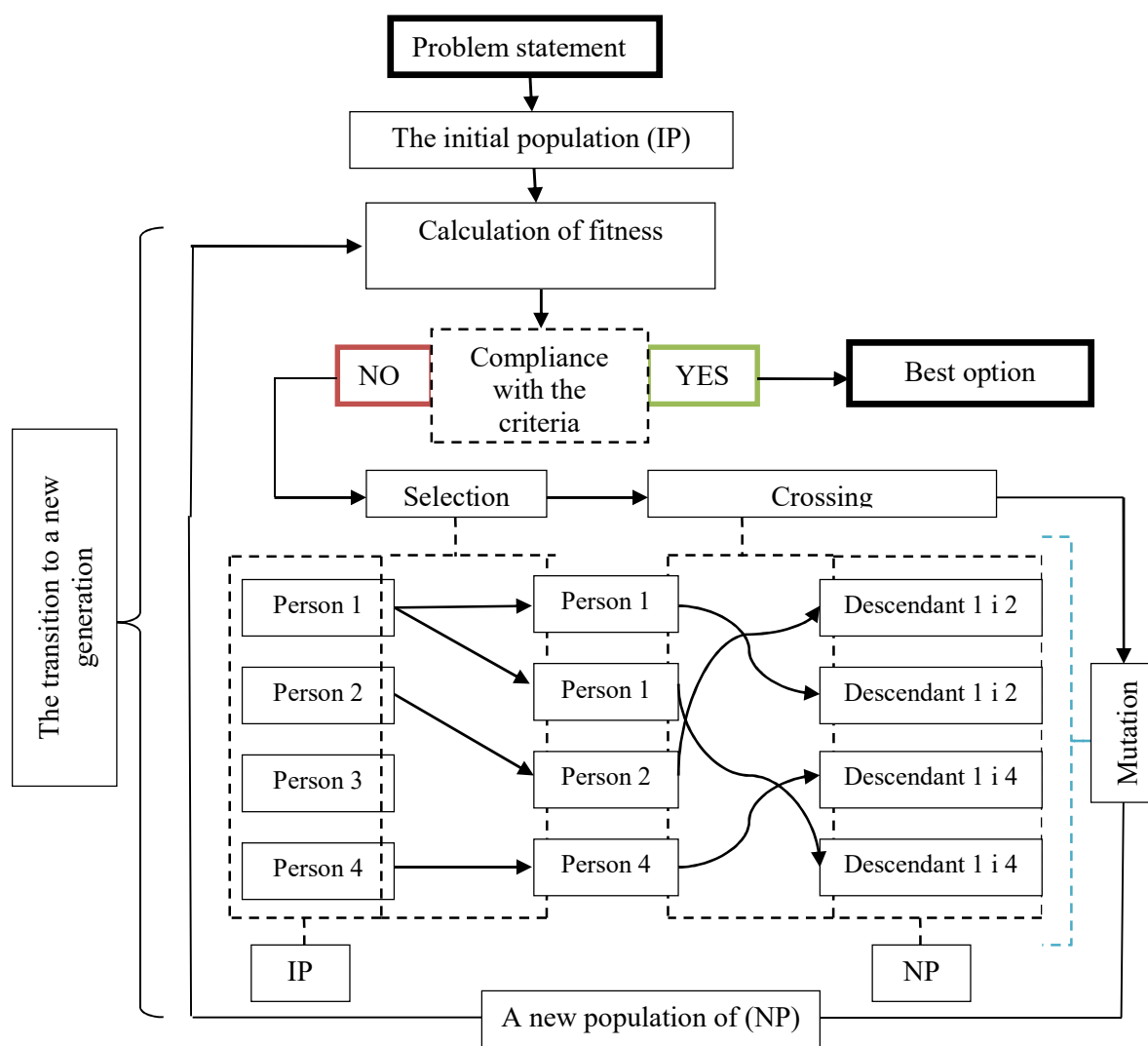


Figure 1 – The principle of the genetic algorithm [adapted from 1,4,5]  
 Рисунок 1 – Принцип генетичного алгоритму [адаптовано з 1,4,5]

In General, the work of the GA consists of the following steps (blocks) [1,4,6]:

1. Problem statement. This step defines the basic requirements and the conditions of the problem on the basis of which will form the requirements for populations. The final answer and solution of the problem must satisfy the set requirements.
2. The formation of the initial population. After the task is set up, an initial population, which has a source chromosome, is randomly formed.
3. Calculation of fitness or population estimation. In order to determine the correspondence of the population of the population to the requirements, the initial population (IP) must pass the unit "calculation of fitness" or "population estimation". If the IP meets the fitness criterion, ie, it corresponds to the optimal solution, then this model is accepted as the final answer, if there are no following GA operators such as selection, crossing, mutation.
4. Selection. At this stage, based on the evaluation of IP selects the fittest of her face for the passage of the operator "the crossing". This operator and its properties greatly affect the average time to receive results and the scatter in independent stages of the process of evolution.
5. Crossing. After the selection of the most suitable persons in the operator crossover is performed crossing between persons of the IP resulting in the formation of the so-called descendants (new offspring). The genetic information data of the descendants created by the combination and intersection of the information of the chromosomes between their "parents".
6. Mutation. After passing the crossing, a new descendants form a new population (NP), part of which is mutated with a random change in their genotype.

After the "mutation" of NP is again the block of "calculation of fitness", which assess the criteria of fitness of NP demands. If the requirements are met, the resulting model is the final and most optimal if no – NP is again an operator "selection", "crossing" and "mutation". Thus all actions are performed until obtaining the desired result.

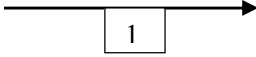
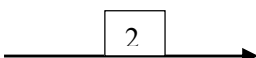
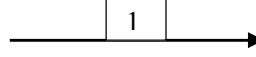
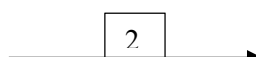
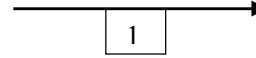
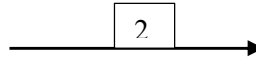
For a better understanding of the effectiveness of using GA in the optimization process, consider an example based on the study «Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization» author's J. Magalhães-Mendes. For optimization, the author used a hybrid (multi-objective) genetic algorithm. GA is responsible for the procedure of development of chromosomes.

To solve the problem, each chromosome undergoes the following phases [7]:

1. The parameters of the transition.
2. Transition process.
3. The decoding between the first and second level.
4. The quality of chromosomes.

Each chromosome represents a solution for the problem and generates a vector of random keys (numbers). Each solution encoded as the initial chromosome (initial level) and has  $mn+n$  genes, where  $n$  is the number of assets and  $m$  is the number of execution modes [7]. The transition between the first and second levels is to select options for the construction of  $m_j$  for each  $j$  activities for each asset. Due to the transition of the resulting chromosome, which consists of  $2n$  genes (second level). In this vipadku we do not consider requirements for type, quantity and quality of resources necessary to implement the tasks [7]. The structure of chromosomes and the transition to the second level are given in table 1.

Table 1 – Structure of chromosomes and transition to the second level [adapted from 7]  
Таблиця 1 – Будова хромосом та перехід на другий рівень [адаптовано з 7]

| First level |          |                      | Transition                                                                          | Second level |          |                      |  |
|-------------|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|----------------------|--|
| Action 1    | Regime 1 | Gene <sub>11</sub>   |   | Action 1     | Regime 1 | Gene <sub>11</sub>   |  |
|             | Regime 2 | Gene <sub>12</sub>   |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | .....    | .....                |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | Regime m | Gene <sub>1m</sub>   |  |              | Delay 1  | Gene <sub>1m+1</sub> |  |
|             | Delay 1  | Gene <sub>1m+1</sub> |                                                                                     |              |          |                      |  |
| Action 2    | Regime 1 | Gene <sub>21</sub>   |  | Action 2     | Regime 2 | Gene <sub>22</sub>   |  |
|             | Regime 2 | Gene <sub>22</sub>   |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | .....    | .....                |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | Regime m | Gene <sub>2m</sub>   |  |              | Delay 2  | Gene <sub>2m+1</sub> |  |
|             | Delay 2  | Gene <sub>2m+1</sub> |                                                                                     |              |          |                      |  |
| .....       | .....    | .....                |                                                                                     | .....        | .....    | .....                |  |
| Action n    | Regime 1 | Gene <sub>n1</sub>   |  | Action n     | Regime 1 | Gene <sub>n1</sub>   |  |
|             | Regime 2 | Gene <sub>n2</sub>   |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | .....    | .....                |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             | Regime m | Gene <sub>nm</sub>   |  |              | Delay n  | Gene <sub>nm+1</sub> |  |
|             | Delay n  | Gene <sub>nm+1</sub> |                                                                                     |              |          |                      |  |
|             |          |                      |                                                                                     |              |          |                      |  |

Note:1 – gene is selected with the highest priority; 2 – automatically goes to the second level.

Decoding is performed using formula 1 [7]:

$$PRIORIT_j = \frac{LLP_j}{LCP} \times \left[ \frac{1 + gene_{mj}}{2} \right], \quad (1)$$

where,  $LLP_j$  – is the longest path from the start of activity  $j$  to the end of the contract;  $LCP$  – is the length of the critical path of the contract;  $m_j$  – is the selected mode of activity  $j$ ;  $gene_{jm+1}$  – is the delay when planning activities;  $j=1, \dots, n$ .

The delay time needed for each activity is determined by using the formula 2 [7]:

$$Delay\ time = gene_{jm+1} \times 1,5 \times MaxDur, \quad (2)$$

where,  $MaxDur$  – is the maximum duration of all activities; 1,5 – the coefficient of a delay (determined experimentally).

Scheme of generation schedules is the basis of most heuristic approaches. There are several species of them, in [7] the author proposes to use a parameterized active schedule. In this case, the layout consists of charts that take into account that none of the resource is not idle more than a pre-specified period. If the period is zero will receive a schedule without delay.

Local search is moving from solution to solution in the space candidates in the direction of the optimal solution or the stopping criterion. In [7] proposed to use the inverse and direct search path. Moving forward from the beginning of the contract then act in the opposite direction trying to find the best solution.

In [7] proposed to use the proportional model (roulette wheel). This approach is characterised by a stochastic selection process. If  $f_i$  is the fitness of individual in the population, the probability of election is determined by formula 3:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i}, \quad (3)$$

where,  $j=1, \dots, n$ .

After nominees are chosen, the crossing taking place between the re-sampled (selection) chromosomes randomly. The mutation operator is applied to each offspring of the population with a pre-determined probability, which in this example is 5%. Not paying attention to the complexity of the parameter settings of genetic algorithm research [7] it is proved that using this method you can be get high accuracy data with low error calculations: population size – 5 x number of activities; the mutation probability is 0.05; 1% of the previous chromosomes move on to the next generation; stopping criterion of 50 generations.

Performing an objective assessment and verification of the effectiveness of this method can be carried out by comparing with similar methods of other leading specialists, by conducting optimization of the real problem. For comparison selected two models of authors Gen M., Cheng R. [8] and Zheng D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy M.M. [9]. To compare for the source data took the table that was specified actions, regimes and their corresponding duration and cost of the work (table 2).

The results of calculations by the first and second method are 6 generations when the third 3-generation costs 225 500\$, which is lower than in the previous year. Analyzing obtained data we can conclude that the proposed model J. Magalhães-Mendes [7] already for 3 generations gives better results than other methods. Therefore, this method is quite effective for solving the issue of optimization of the relationship of "time-cost".

As you can see, GA is a very progressive and effective method of solving the issue of optimization of the relationship of "time-cost". In recent years, more and more researchers use GA for solving various problems, and to optimization problems. For example, studies of J. Magalhães-Mendes is possible to note that GA is a very flexible method, even despite a certain heaviness of making the settings of the model. The properties of GA can be used to solve the optimization problem of the relationship of "time-value" in BRMC, because of their length and a feature run MR require a flexible enough model to account for the many factors that can influence the cost and time of implementing contracts.

### Summary

On the basis of this study and the work performed we can draw the following conclusions:

1. To solve the optimization problem of the relations of time value you can use the following methods: a mathematical, heuristic and metaheuristic.

2. The most modern and efficient methods are metaheuristics, in particular, evolutionary algorithms, among which the most progressive and flexible is genetic algorithm, which by its nature is a method of search and optimization that is based on the laws of natural selection and further use of the most optimal solutions to problems using the accumulation of information from the search space and adaptation to the most optimal variant. For the first time genetic algorithms proposed by John Holland in 1975, which was based on the principle of natural selection of Charles Darwin.

3. Traditionally, the operation of the genetic algorithm consists of the following stages (blocks): statement of the problem; create initial population; calculate or estimate the fitness of a population; selection; crossbreeding (crossover); mutation; new population; check for new populations; the selection of the final optimal answer.

Table 2 – Timing and cost of each option and mode of operation [adapted from 7]

Таблиця 2 – Терміни та вартість кожного варіанту та режиму роботи [адаптовано з 7]

| Number of the action<br>(work) | Regime | Variant | Direct cost, \$ |
|--------------------------------|--------|---------|-----------------|
| 1                              | 2      | 3       | 4               |
| 1                              | -      | 1       | 23000           |
|                                |        | 2       | 18000           |
|                                |        | 3       | 12000           |
| 2                              | 1      | 1       | 3000            |
|                                |        | 2       | 2400            |
|                                |        | 3       | 1800            |
|                                |        | 4       | 1500            |
|                                |        | 5       | 1000            |
| 3                              | 1      | 1       | 4500            |
|                                |        | 2       | 4000            |
|                                |        | 3       | 3200            |
| 4                              | 1      | 1       | 45000           |
|                                |        | 2       | 35000           |
|                                |        | 3       | 30000           |
| 5                              | 2.3    | 1       | 20000           |
|                                |        | 2       | 17500           |
|                                |        | 3       | 15000           |
|                                |        | 4       | 10000           |
| 6                              | 4      | 1       | 40000           |
|                                |        | 2       | 32000           |
|                                |        | 3       | 18000           |
| 7                              | 5.6    | 1       | 30000           |
|                                |        | 2       | 24000           |
|                                |        | 3       | 22000           |

Data from Table 2 was used to perform calculations and compare methods (Table 3).

Table 3 - Results of calculations [adapted from 7]

Таблиця 3 - Результати розрахунків [адаптовано з 7]

| Method                                        | Population number | Time, days | Cost, \$       |
|-----------------------------------------------|-------------------|------------|----------------|
| 1                                             | 2                 | 3          | 4              |
| Gen M., Cheng R. [8]                          | 0                 | 83         | 243 500        |
|                                               | 1                 | 80         | 242 400        |
|                                               | 2                 | 80         | 261 900        |
|                                               | 3                 | 79         | 256 400        |
|                                               | 4                 | 79         | 256 400        |
|                                               | 5                 | 79         | <b>256 400</b> |
| Zheng D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy M.M. [9] | 0                 | 73         | 251 500        |
|                                               | 1                 | 73         | 251 500        |
|                                               | 2                 | 73         | 251 500        |
|                                               | 3                 | 66         | 236 500        |
|                                               | 4                 | 66         | 236 500        |
|                                               | 5                 | 66         | <b>236 500</b> |
| J. Magalhães-Mendes [7]                       | 0                 | 73         | 233 000        |
|                                               | 1                 | 68         | 225 500        |
|                                               | 2                 | 63         | <b>225 500</b> |

4. The genetic algorithm proposed by J. Magalhães-Mendes for the solution of the optimization problem indicates the flexibility of genetic algorithms and the complexity of their settings. However, this work points to the significant efficacy of HA in comparison with the models presented in the works of Gen M., Cheng R. and Zheng D. X. M., Ng S. T., Kumaraswamy M.

5. The analysis of foreign experience of the use of genetic algorithms to solve optimization problems of the relationship of "time-value" indicates its flexibility and efficiency, which may allow to solve the optimization problem in BRMC for their successful use in MR in the road sector of Ukraine.

### References

1. Trivedi, M.K., Sapan, N. Use of optimization techniques in time-cost trade off (TCT) in civil construction: An Overview. Civil engineering department, Madhav Institute of Technology and Science Gwalior, 474001 (M.P.). URL: [http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1\\_01.pdf](http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1_01.pdf). [in English].
2. Sultana, P., Surajit, K. S. (2012). GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 2, 6. URL: [http://www.ijmer.com/papers/Vol2\\_Issue6/CQ2643524359.pdf](http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue6/CQ2643524359.pdf). [in English].
3. Panchenko, T.V. (2007). Geneticheskie algoritmy: uchebno-metodicheskoe posobie [Genetic algorithms: teaching-methodical manual]. Izdatel'skiy dom «Astrahanskij universitet» - Astrakhan University Publishing House, 87. URL: <http://mathmod.asu.edu.ru/images/File/ebooks/GAfinal.pdf>. [in Russian].
4. Tsoi, Yu.R., Spitsyn, V.G. (2006). Geneticheskij algoritm [Genetic algorithms]. Predstavlenie znaniy v informacionnyh sistemah: uchebnoe posobie. - Tomsk: Izdatel'stvo TPU - Representation of knowledge in information systems: a manual. - Tomsk: TPU Publishing House, 146. URL: [http://qai.narod.ru/Publications/tsoy\\_chapter GA.pdf](http://qai.narod.ru/Publications/tsoy_chapter GA.pdf). [in Russian].
5. Egorov, K., CHurakov, M. Geneticheskie algoritmy. [Genetic algorithms]. URL: <http://slideplayer.com/slide/4818707/>. [in Russian].
6. Ereemeev, A.V. (2008). Geneticheskie algoritmy i optimizaciya [Genetic algorithms and optimization]. Uchebnoe posobie – Omsk: Izd-vo Omskogo gosudarstvennogo universiteta - Textbook - Omsk: Omsk State University Publishing House, 48. URL: <http://itam.omsk.net.ru/~eremeev/PAPERS.SK/Method.pdf>. [in Russian].
7. Magalhães-Mendes, J. (2015). Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. New Developments in Pure and Applied Mathematics, 88-95. URL: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>. [in English].
8. Gen, M., Cheng, R. (2000). Genetic Algorithms & Engineering Optimization. Wiley-Interscience [in English].
9. Zheng, D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy, M.M. (2004). Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization. Journal of Construction Engineering and Management, 130(2), 168-176 [in English].

### ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОШЕННЯ «ЧАС – ВАРТІСТЬ» ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ

**Заворотний С.М.** Національний транспортний університет, Київ, Україна, [seregazavorotnyi@gmail.com](mailto:seregazavorotnyi@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2139-8877>

**Харченко А.М.**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [anna-x3@ukr.net](mailto:anna-x3@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

В даній статті:

- 1) розглянуті основні групи методів оптимізації відношення «час-вартість»;
- 2) визначений найбільш оптимальний і ефективний метод оптимізації;
- 3) наведений принцип роботи генетичного алгоритму;
- 4) виконано аналіз роботи J. Magalhães-Mendes, як приклад ефективності ГА.

Об'єкт дослідження – генетичний алгоритм.

Мета роботи – виконати аналіз генетичного алгоритму та досвіду його використання, як методу оптимізації відношення «час-вартість» з метою успішного впровадження ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг України.

Метод дослідження – аналітичний, історичний, термінологічний, функціональний.

В даній статті виконаний аналіз груп методів, які використовуються для оптимізації відношення «час-вартість». В результаті аналізу було визначено, що генетичний алгоритм (ГА) є найбільш оптимальним та ефективним методом оптимізації. Було виконано аналіз принципу роботи ГА. Робота ГА складається з таких етапів (блоків): постановка задачі; створення початкової популяції; розрахунок або оцінка пристосованості популяції; селекція; схрещення (кросовер); мутація; створення нової популяції (НП); перевірка нової популяції; вибір остаточної оптимальної відповіді. Для отримання остаточного оптимального результату нова популяція (нове покоління) проходить блок перевірки пристосованості знову. Якщо НП задовольняє поставлені вимоги, то вона приймається як остаточне оптимальне рішення. Якщо не відповідає вимогам задачі - проходить етапи селекції, схрещення, мутації та перевірки заново до моменту задоволення вимог поставленої задачі. Для кращого розуміння ефективності використання ГА для оптимізації відношення «час-вартість», було виконано розгляд та аналіз ГА, який був запропонований J. Magalhães-Mendes. Автор порівнює свою модель з двома сучасними моделями розробленими авторами: Gen M., Cheng R. та Zheng D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy M.M. Порівняльний аналіз виконувався на основі реально поставленої задачі, яка складалася з семи операцій та декількох режимів виконання робіт. В результаті проведеного аналізу було визначено, що модель запропонована J. Magalhães-Mendes дала оптимальну відповідь вже за три покоління, тоді коли інші дві моделі лише за шість. Дана модель вирішила задачу ще й з найменшим значенням кінцевої вартості, що склало 225 500 доларів США. На основі виконаної роботи можна зробити висновок, що ГА може бути достатньо ефективним методом вирішення задачі оптимізації відношення «час-вартість», що в свою чергу дозволить якісно реалізувати ДККП в дорожній галузі нашої держави.

**Ключові слова:** довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках, експлуатаційне утримання доріг, оптимізація, генетичний алгоритм.

#### Перелік посилань

1. Trivedi M.K., Sapan N. Use of optimization techniques in time-cost trade off (TCT) in civil construction: An Overview. Civil engineering department, Madhav Institute of Technology and Science Gwalior, 474001) (M.P.) INDIA. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1\\_01.pdf](http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1_01.pdf).
2. Sultana P., Surajit K. S. GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) Vol.2, Issue.6, Nov-Dec. 2012. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.ijmer.com/papers/Vol2\\_Issue6/CQ2643524359.pdf](http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue6/CQ2643524359.pdf).
3. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mathmod.asu.edu.ru/images/File/ebooks/GAfinal.pdf>.
4. Цой Ю.Р., Спицын В.Г. Генетический алгоритм / Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. - Томск: Издательство ТПУ, 2006г. - 146 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://qai.narod.ru/Publications/tsoy\\_chapterGA.pdf](http://qai.narod.ru/Publications/tsoy_chapterGA.pdf).
5. Егоров К., Чураков М. Генетические алгоритмы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://slideplayer.com/slide/4818707/>.
6. Еремеев А.В. Генетические алгоритмы и оптимизация / Учебное пособие – Омск: Изд-во Омского государственного университета, 2008. – 48 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iitam.omsk.net.ru/~eremeev/PAPERS.SK/Method.pdf>.
7. Magalhães-Mendes J. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. New Developments in Pure and Applied Mathematics, 2015, pp. 88-95. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>.
8. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms & Engineering Optimization, Wiley-Interscience, New York. 2000. Zheng D. X.M. Ng, S.T. Kumaraswamy M.M. Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, Journal of Construction Engineering and Management, 130(2), 2004, pp.168-176.

УДК 625.745.3

## LINEAR SURFACE DRAINAGE FROM ROAD COVERAGE, TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS

### ЛІНІЙНЕ ПОВЕРХНЕВЕ ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ



**Volodymyr Kaskiv**, Ph.D., Associate Prof. M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise (DerzdorNDI SE), Kyiv, Ukraine  
e-mail: [vi\\_kas@ukr.net](mailto:vi_kas@ukr.net), тел: +380504458544

<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>



**Vladyslav Havryshchuk** ACO Building Materials Ltd., Kyiv, Ukraine  
e-mail: [vlad.havryshchuk@gmail.com](mailto:vlad.havryshchuk@gmail.com), тел: +380963796185

<https://orcid.org/0000-0003-3164-4426>

**Abstract.** Road surfaces are characterized by high runoff rates, with only a few percent of the total spent on weathering, evaporation and wetting. The design of drainage structures is reduced to the use of standard solutions for drainage from the pavement and beyond the ground. Surface water flowing from the surface of the carriageway, roadsides and slopes, accumulates in the soles of the ground. However, there are no methods for draining (disposal) outside the highway, within the drainage lane. This issue is especially relevant in the design of public roads within the settlements.

In unfavorable design conditions, there is a need for linear surface drainage to cover roads, to ensure efficient drainage, minimize soaking of road structures and ground, reduce filtration of contaminated runoff into the soil and reduce the drainage lane of the highway.

**Key words:** highway, drainage, tray, road pavement, roadbed.

**Introduction.** A highway is a complex linear object that consists of a complex of buildings. The reliability, durability and importance of their failure-free operation are directly related to traffic safety. It is especially important to ensure the transport and operational indicators of the elements that are directly affected by the load from the rolling stock, weather and climatic factors (temperature changes, the effects of precipitation, weathering, etc.), solar radiation, maintenance measures. Preservation of transport and operational indicators is provided by effective functioning of all elements of the road. To ensure the stability

of the ground from the effects of surface water on public roads provide for the installation of drainage structures. According to the purpose, design features and operating conditions, the following design schemes of surface drainage organization are distinguished: from the area far closely to the road surface and directly from the road surface; from the surface of traffic junctions and bridges; from surfaces bounded by regulatory and shore protection structures. The choice of measures and schemes of organization of drainage depends on technical and economic indicators.

**The main part.** In [1] there are the schemes of drainage arrangement on highways presented, but the measures are not taken into account [2]. The solutions presented in [2, 3] are characterized as high-tech, sealed surface drainage systems with a high level of safety and reliability (Fig. 1).

Environmental aspects of the application of these solutions for the construction of drainage on highways have been insufficiently studied. According to [4], it is allowed to use a simplified scheme drainage runoff into the pond, even without prior treatment. The determining factor in this case is the low concentration of pollutants due to high rainfall. However, with low-intensity precipitation, we obtain a high concentration of contaminated runoff: suspended solids, petroleum products, heavy metals, anti-ice reagents, etc. [5-7]. Standard [1] provides for the installation of one of the options for drainage from roads:

**Scheme 1.** It is characterized by free flow of water on the surface of the carriageway to the curb, then on the slopes and then in the side drainage ditches (cuvettes). The flow rate of water in this case is determined by the parameters of longitudinal and transverse slopes of the carriageway and roadsides, normalized by DBN B.2.3-4, the condition of the pavement, as well as its type, regulated by a standard design for pavement. This scheme is used on public roads of all technical categories.

**Scheme 2.** It is characterized by free flow of water on the surface of the carriageway to the edge of the catchment trays located on the edge of the carriageway, then in open sloping drains installed at certain distances from each other, then in drainage fortified ditches, sewage treatment plants or on adjacent territory. This scheme is used on public roads I - III, sometimes - IV technical categories. According to this scheme, the surface drainage system includes typical reinforced concrete catchment edge and spillway telescopic trays, as well as reinforced drainage ditches.

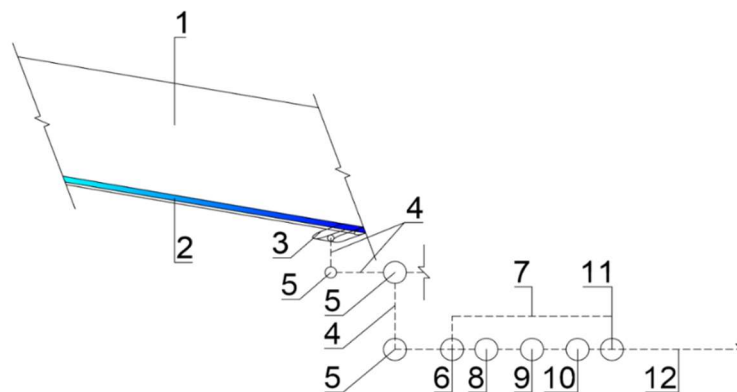


Figure 2 - Comprehensive drainage scheme,

- 1 - area; 2 - drainage tray channel [2]; 3 – sump unit; 4 - sewer pipeline; 5 - rotary (revision) well;  
 6 - distribution well; 7 – by-pass; 8 - settling tank; 9 - coalescent separator of oil products;  
 10 - sorption filter; 11 - control well; 12 - discharge of treated effluent into the evaporation basin, filtration facilities or reservoir

Рисунок 2 – Комплексна схема водовідведення,

1 – водозбірний басейн; 2 – водовідвідний канал; 3 – піскоуловлювач; 4 – каналізаційний трубопровід; 5 – поворотний (ревізійний) колодязь; 6 – розподільчий колодязь; 7 – аварійний трубопровід; 8 – відстійник; 9 – коалесцентний сепаратор нафтопродуктів; 10 – сорбційний фільтр; 11 – контрольний колодязь; 12 – відведення очищеного стоку у випаровувальний басейн або фільтраційні споруди

Scheme 3. It is characterized by free flow of water on the surface of the carriageway to the curbs, then in open sloping spill trays, which are located at certain distances from each other, then in drainage fortifications, treatment facilities, closed sewers or the surrounding area. On public roads, a combination of several surface drainage schemes is possible. When organizing surface drainage, special attention is paid to junctions of edge and slope structures, areas of entrance to the slope tray, extinguishers in the end part of slope slopes, strengthening of the lower reaches of the slope slope structure and areas of its connection with longitudinal drainage ditches, treatment facilities.

Additionally, the work will evaluate the scheme of drainage in a closed way and open linear tray channels [4].

Discharge of polluted runoff through slopes or soil ditches should not be used on highways of I-II categories, due to significant indicators of pollution. For areas with high traffic, the arrangement of bridges, overpasses and the passage of public roads through settlements, it is advisable to consider a comprehensive scheme of organization of drainage (Fig. 2).

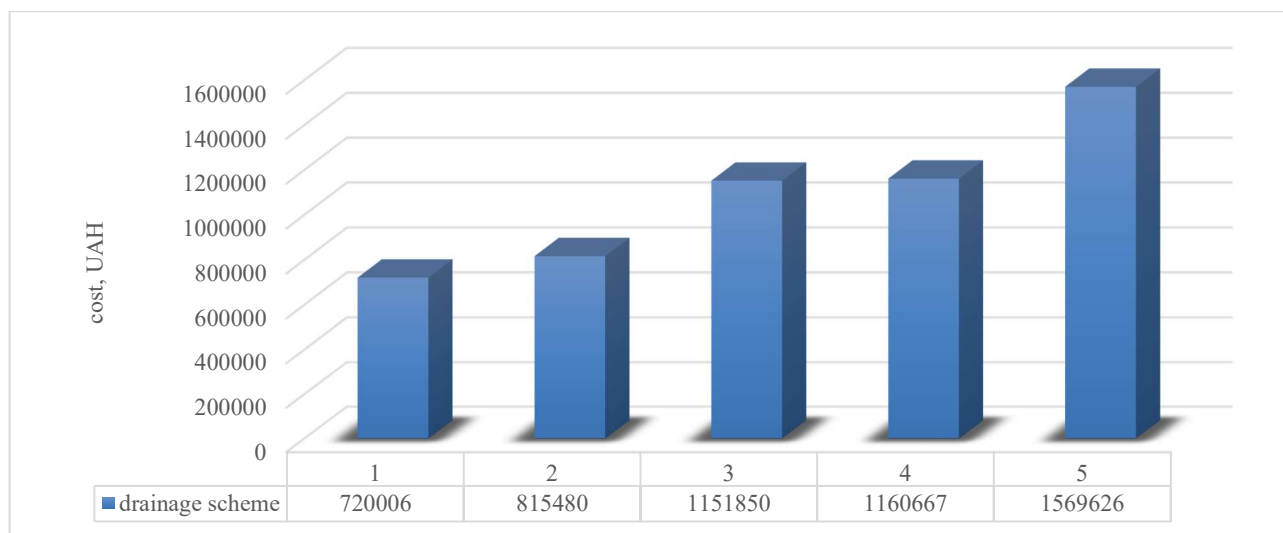


Figure 3 - Estimated cost of the scheme by drainage area 100m

1 - free flow of water on the surface of the carriageway to the curb, then on the slopes and then in the side drainage ditches (ditches); 2 - free flow of water on the surface of the carriageway to the curbs, then in the open sloping spill trays, which are located at certain distances from each other; 3 - free flow of water on the surface of the carriageway to the edge of the catchment trays located on the edge of the carriageway, then in the open sloping drains installed at certain distances from each other, then in the drainage fortified ditches; 4 - closed sewer network; 5 - linear surface drainage

Рисунок 3 – Кошторисна вартість схем водовідведення водозбірної ділянки – 100 м

1 – вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги на узбіччя, далі на укоси та потім у бічні водовідвідні канами (кювети); 2 – вільне стікання води по поверхні проїзної

частини автомобільної дороги до прикрайкових водозбірних лотків, що розташовуються на певній відстані один від одного; 3 - вільне стікання води по поверхні проїзної частини автомобільної дороги до бордюрів, далі у відкриті укисні водоскидні лотки, які розташовані через певні відстані один від одного, потім у водовідвідні укріплені русла; 4 – закрита мережа дощової каналізації; 5 – лінійне поверхневе водовідведення

The complex scheme (Fig. 3) of organization of drainage should provide collection, transportation, treatment and removal of the treated drain (utilization), depending on conditions of passage of a route of the highway, a relief, climatic, hydro-geological characteristics of the area.

The estimated cost is given without taking into account the installation of local wastewater separators in accordance with [8-11]. The technical component will be presented in the form of 10 indicators (Fig. 4).

At the highest construction cost, linear surface drainage is characterized by the highest technical indicators and scheme 1 - free flow of water on the road surface to the curb, then on the slopes and then in the side drainage ditches (ditches) is the cheapest and least technically perfect .

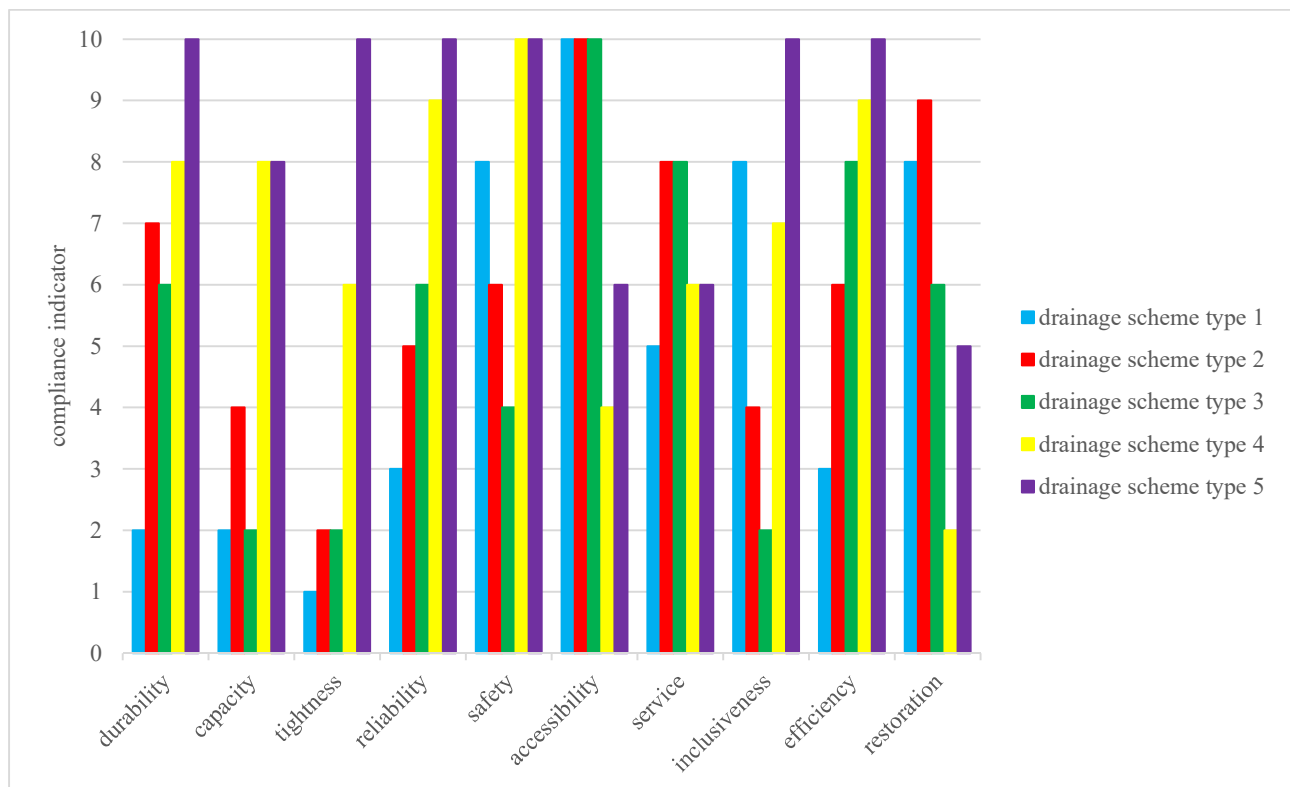


Figure 4 - Characteristics of drainage methods

Рисунок 4 – Характеристики методів влаштування водовідведення

Taking into account technical and economic indicators, it is expedient to consider conditions of application of complex decisions on drainage (tab. 1).

Table 1 - Characteristics of measures for the organization of drainage

Таблиця 1 – Характеристики заходів організації водовідведення

| № | Category management | Areas                                                                        | Basic solutions                                                                                                                                                                                                        | Terms of use                                                                                                                                                                                                                  |
|---|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | I                   | Bridges, overpasses, sections through settlements of the I category of roads | Drainage canals, bridge ladders (according to [2]), rainwater wells, pipeline networks, local separators with sorption filter, discharge of treated effluent into reservoirs, infiltration systems, evaporation basins | For the installation of drainage trays, the longitudinal slope should be in the range of 3-20%. Infiltration into the soil is possible in the absence of high groundwater levels and high filtration characteristics of soils |
| 2 | II                  | Sections through settlements of the II category of roads                     | Drainage trays (according to [2]), rainwater wells, pipeline networks, local separators with sorption filter, discharge of treated effluent into infiltration systems, evaporation basins                              | For the installation of drainage trays, the longitudinal slope should be in the range of 3-20%. Infiltration into the soil is possible in the absence of high groundwater levels and high filtration characteristics of soils |
| 3 | III                 | Sections through agricultural lands of I, II category of roads               | Surface drainage (according to [1]), local separators, discharge of treated effluent into infiltration systems, evaporation basins                                                                                     | Infiltration into the soil is possible in the absence of high groundwater levels and high filtration characteristics of soils                                                                                                 |
| 4 | IV                  | Forests, agricultural lands                                                  | Surface drainage (according to [1]), discharge of treated effluent into infiltration systems, evaporation basins                                                                                                       | Infiltration into the soil is possible in the absence of high groundwater levels and high filtration characteristics of soils                                                                                                 |

**Conclusions.** The analysis of drainage design schemes on sections of public roads is carried out in the work [1, 4]. The main technical characteristics of drainage schemes are determined. A technical and economic comparison of options for surface drainage on public roads is conducted. The cost of drainage solutions from the simplest to the most efficient varies twice, and the technical characteristics - up to 70%. It is determined that capital costs at the design and construction stage ensure reliable and long-lasting operation of the drainage system. The scheme of the complex decision on the device of drainage with conditions of their effective work is offered. An additional factor in the use of drainage in a closed way and as open linear tray channels [4] are the environmental aspects of solving the problem of environmental pollution by surface runoff from roads.

#### References

1. DSTU 9057: 2020 Guidelines for the design and installation of surface drainage structures on public roads [Effective from 28.09.2020] Ed. ofits. Kyiv: UkrNDNC 2020, 30p. [in Ukrainian]
2. EN 1433:2002 Drainage channels for vehicular and pedestrian areas - Classification, design and testing requirements, marking and evaluation of conformity

3. Havryshchuk V.V. Analysis of drainage design methods from highways Havryshchuk V.V. Kaskiv V.I./ Automobile roads and road construction. Kyiv - 2019, No. 106 [in Ukrainian]
4. DBN B.2.5-75: 2013 Sewage. External networks and structures. Basic design principles. [Effective 01.01.2014] View. offic. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2013. 219p. [in Ukrainian]
5. Vaskina IV Estimation of technogenic load on roadside ecosystems: Dis. ... Can. Tech. Science: 21.06.01 - S., 2018.– 214p. [in Ukrainian]
6. Kolomiets SV Increasing the level of environmental safety of motor transport enterprises: Dis. ... Cand. Tech. Science: 21.06.01. - Kyiv, 2019. - 164 p. [in Ukrainian]
7. Mostepan OV Estimation of influence of pollution of storm waters from a surface of highways on environment: Dis. ... Cand. tech. Science: 21.06.01. - Kharkiv, 2004. - 251 p. [in Ukrainian]
8. GBN B.2.3-218-007: 2012. Transport facilities. Environmental requirements for roads. Designing. [Effective from 01.10.2012] Ed. ofits. Kyiv: Ukravtodor, 2012, 25p. [in Ukrainian]
9. DTSU 3013-95 System of standards in the field of environmental protection and rational use of resources. Hydrosphere. Rules for controlling the discharge of rain and snow sewage from the territories of cities and industrial enterprises. [Effective 23.02.1995] offic. Kyiv: State Standard of Ukraine, 1995, 17 p. [in Ukrainian]
10. DTSU -N B B.2.5-71: 2013 Surface sewage treatment plants. Design guidance (CH 496-77, MOD). [Effective 01.01.2014] View. offic. Kyiv: Minregion of Ukraine, 2014, 30 p. [in Ukrainian]
11. DTSU 8691: 2016 Wastewater. Guidelines on the establishment of technological standards for the discharge of rainwater into water bodies [Effective on 10/31/2016] offic. Kyiv: UkrNDNC, 2016, 28p. [in Ukrainian]

### ЛІНІЙНЕ ПОВЕРХНЕВЕ ВОДОВІДВЕДЕННЯ З ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

**Каськів В. І.**, Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна, e-mail: [vi\\_kas@ukr.net](mailto:vi_kas@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798> тел:+380504458544

**Гавришук В. В.**, ТОВ «АКО Будівельні Елементи Лтд.», Київ, Україна  
[vlad.havryshchuk@gmail.com](mailto:vlad.havryshchuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3164-4426> тел: +380963796185

**Анотація.** Покриття автомобільних доріг характеризуються високими показниками стоку, лише кілька відсотків від загальної кількості витрачаються на вивітрювання, випаровування та змочування. Проектування водовідвідних споруд зводиться до застосування типових рішень, щодо відведення стоку з покриття та за межі земляного полотна. Поверхневі води, що стікають з поверхні проїзної частини автомобільної дороги, узбіч і укосів, акумулюються у підшви земляного полотна. Однак відсутні методики, щодо відводу стоку (утилізації) за межі автомобільної дороги, в межах смуги відводу. Особливо актуальне дане питання при проектуванні автомобільних доріг загального користування в межах населених пунктів.

У несприятливих умовах проектування виникає потреба у влаштування лінійного поверхневого водовідведення з покриття автомобільних доріг, для забезпечення ефективного водовідводу, мінімізації замочування шарів дорожніх конструкцій та земляного полотна, зменшенню фільтрації забрудненого стоку в ґрунти та зменшення смуги відводу автомобільної дороги.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, водовідведення, лоток, дорожній одяг, земляне полотно.

### Перелік посилань

1. ДСТУ 9057:2020 Настанова з проектування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування [Чинний від 28.09.2020] Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ 2020, 30с.
2. ДСТУ Б EN 1433:2016 Лотки водовідвідні для транспортних і пішохідних зон. Класифікація, вимоги до виготовлення, методи випробувань, маркування та оцінка відповідності
3. Гавришук В. В. Аналіз методів проектування водовідведення з автомобільних доріг/ Гавришук В. В., Каськів В.І./ Автомобільні дороги. К - 2019, вип. 106
4. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 01.01.2014] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2013. 219с.
5. Васькіна І.В. Оцінка техногенного навантаження на придорожні екосистеми: Дис. ... кан. Техн. Наук: 21.06.01 – С., 2018.– 214с.
6. Коломієць С.В. Підвищення рівня екологічної безпеки автотранспортних підприємств : Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. – Київ, 2019. – 164 с.
7. Мостепан О.В. Оцінка впливу забруднення зливових вод з поверхні автомобільних доріг на навколишнє середовище: Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. – Харків, 2004. – 251 с.
8. ГБН В.2.3-218-007:2012. Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування. [Чинний від 01.10.2012] Вид. офіц. Київ: Укравтодор, 2012, 25с.
9. ДСТУ 3013-95 Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств. [Чинний від 23.02.1995] Вид. офіц. Київ: Держстандарт України , 1995, 17с.
10. ДСТУ-Н Б В.2.5-71:2013 Споруди для очищення поверхневих стічних вод. Настанова з проектування (СН 496-77, MOD). [Чинний від 01.01.2014] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України , 2014, 30с.
11. ДСТУ 8691:2016 Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти [Чинний від 31.10.2016] Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016, 28с.

**ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕЖОРСТКОГО  
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТОВИХ СПОРУД  
В ЗОНІ ПЕРЕХІДНИХ ПЛИТ**

**FEATURES OF STRESS-DEFORMED CONDITION OF NON-RIGID ROAD CLOTHING  
ON THE IN THE AREA OF BRIDGE APPROACH SLABS**



**Солодкий Сергій Йосифович**, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: [s.solodkyi@ukr.net](mailto:s.solodkyi@ukr.net), тел. +380322582517

<https://orcid.org/0000-0001-9829-5123>



**Кушнір Олександр Володимирович**, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, аспірант, [dornii48@gmail.com](mailto:dornii48@gmail.com), +380974432495

<https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

**Анотація.** Мозговий Володимир Васильович, Кушнір Олександр Володимирович, Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит / Київ. НТУ: наук.-виробн. збірник “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво” - 2019. - № 106

В статті розглядаються особливості роботи асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу в зоні сполучення мосту і насипу на прикладі розгляду найбільш типових конструктивних рішень.

Об'єкт дослідження – конструкція нежорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги в зоні сполучення з мостовою спорудою.

Мета роботи – аналіз особливостей напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит від дії транспортного навантаження з точки зору впливу на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах.

Метод дослідження – аналітичний, що ґрунтується на виконанні числового експерименту при застосуванні програмного комплексу ЛІРА САПР.

Розглянуто просторову кінцево-елементну модель, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан кожного елемента конструкції при різному розташуванні транспортного навантаження по відношенню до розташування перехідної плити.

Проведений кількісно-якісний аналіз деформацій, переміщень і напружень в асфальтобетонних шарах конструкції дорожнього одягу виявив певні обставини, що можуть впливати на передчасне утворення в них тріщин. Це пов'язано з різкою зміною параметрів напружено-деформованого стану над перехідною плитою по відношенню до їх зміни в асфальтобетонних шарах поза межами перехідної плити і обумовлене з явищем «квазиклавішного ефекту». Це пояснює утворення відповідних дефектів і призводить до зменшення довговічності конструкцій дорожнього одягу.

Результати статті можуть бути упроваджені при проектуванні дорожніх одягів в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з автомобільною дорогою і технології їх ремонту та будівництва.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної конструкції дорожнього одягу в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з насипом автомобільної дороги.

**Ключові слова.** підходи до мостів, дорожній одяг, асфальтобетонне покриття, перехідні плити.

З літературних джерел відомо, що проблемою сполучення мостових споруд з насипами підходів займаються [1-8] вже багато років. Аналіз різних рішень, щодо поліпшення експлуатаційного стану покриття дорожнього одягу у місцях сполучення мостів і шляхопроводів з насипом автомобільних доріг показує, що всі вони, головним чином, були направлені на удосконалення конструктивних рішень у зоні спряжень зі стоянами мостових споруд. Найбільш поширеними варіантами на таких об'єктах, що експлуатуються і проектується, є конструкції земляного полотна з різноманітними видами перехідних плит, де використовується конструкція дорожнього одягу, що запроєктована для автомобільної дороги, яка сполучається з мостовою спорудою [9-13]. Однак, у багатьох випадках у зоні спряження спостерігається передчасна поява руйнувань і деформацій на покритті. Відомо багато технічних рішень, спрямованих на зниження зазначених недоліків, водночас це питання недостатньо вивчене з точки зору впливу напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит на довговічність асфальтобетонного покриття. Тому вирішення питань, щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостових споруд автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, є актуальним і важливим науково-практичним завданням, що дозволить забезпечити тривалу і надійну роботу як покриття дорожнього одягу так і всього вузла сполучення мосту з насипом.

Методика досліджень даної роботи полягала у використанні скінченно-елементного моделювання поведінки конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям під дією транспортного навантаження у зоні розташування перехідної плити вузла спряження насипу автомобільної дороги зі стояном. Для досліджень була прийнята конструкція дорожнього одягу, характерна для автомобільних доріг з важким і інтенсивним рухом (табл. 1).

Таблиця 1 – Конструкція дорожнього одягу вузла спряження насипу автомобільної дороги з мостовою спорудою

Table 1 – The design of the pavement of the highway with on the in the area of bridge approach slabs

| Ч.ч. | Конструктивні шари дорожнього одягу                                          | Товщина, см |
|------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1    | Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) на бітумі БМПА60/90-53            | 5           |
| 2    | Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90 (Тип А, Марка І)                   | 11          |
| 3    | Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД60/90 (Крупнозернистий, Марка І) | 11          |
| 4    | Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена цементом М 20       | 20          |
| 5    | Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу                                | 20          |
|      | Грунт земляного полотна - пісок                                              |             |

Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу при горизонтальному розташуванні перехідної плити представлена на рис. 1. Довжина перехідної плити становить 6000 мм. У дослідженнях також розглядали варіант нахиленої перехідної плити з ухилом 1: 13.

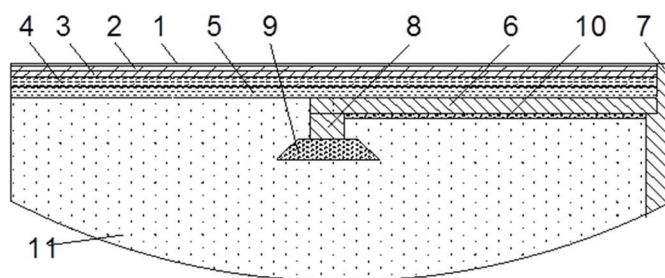


Рисунок 1 – Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу: 1–3 – шари асфальтобетонного покриття; 4–5 – шари основи; 6 – перехідна плита; 7 – стоян (берегова опора); 8 – лежень; 9–10 – щебенева подушка; 11 – грунт земляного полотна (дренуючий) – пісок

Figure 1 – The scheme of obtaining the bridge with a nasip podhodu - 1–3 - balls of asphalt concrete; 4–5 - balls of the base; 6 - overboard stove; 7 - standing (shore support); 8 - lying; 9–10 - crushed stone pillow; 11 - soil (draining) – sand

В наших дослідженнях для розрахунків було вибрано як найбільш типовий представник великовантажних транспортних засобів автомобіль FORD TRUCKS 4142M EURO 5 (рис. 3) з такими характеристиками: загальна маса 33514 кг; колісна база - 8х4, 5100 мм; повна довжина 8860 мм; відстань між 1-ю і 2-ю віссю 2050 мм; відстань між 2-ю і 3-ю віссю 3050 мм; відстань між 3-ю і 4-ю віссю 1330 мм; розмір шин - 315/80 R22,5.

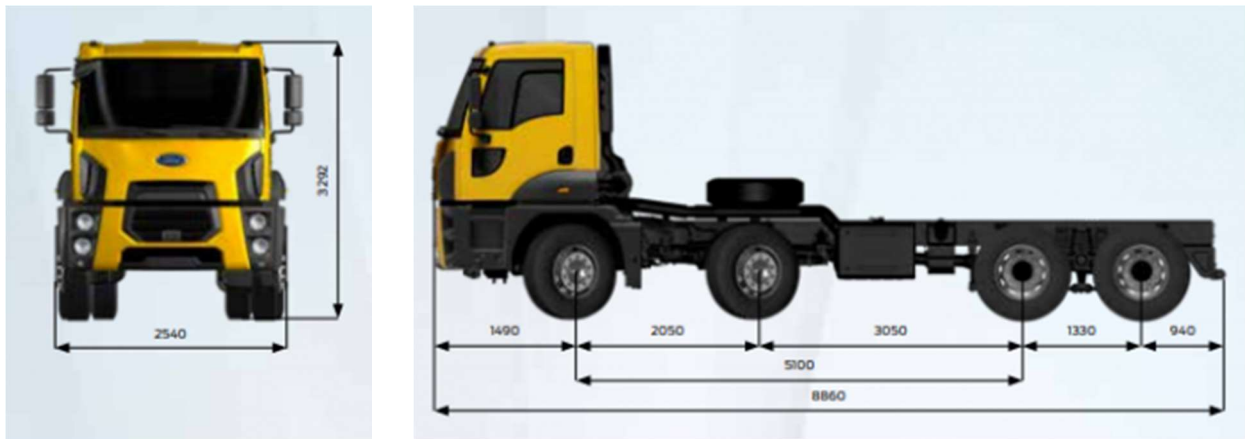


Рисунок 2 – Чотирьохвісний автомобіль FORD TRUCKS 4142 з кабіною над двигуном

Figure 2 – Four-axle FORD TRUCKS 4142 car with cab over engine

Для моделювання напруженого стану дорожнього одягу під дією транспортних навантажень використано метод скінчених елементів, який в останні роки набуває все більшої популярності у дорожніх конструкціях [13-15]. Розрахунки виконували в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017. З метою розрахунку дорожнього одягу було розроблено просторову скінченно-елементну модель, що дозволяє визначити напружено-деформований стан кожного елемента конструкції. Для досліджень прийнята розрахункова модель, що мала розміри 14×4,4×1,97 м і складалась із 133245 вузлів та 135520 елементів. Передбачалося, що шари конструкції дорожнього одягу є монолітними і зчеплені між собою.

Для моделювання перехідних плит (П600.124.30-ТА400С) використовували універсальний просторовий восьмивузловий і ізопараметричний кінцевий елемент KE36. Об'ємні елементи ґрунту засипки і основи моделювали з допомогою елемента KE271-276, що моделює односторонню роботу ґрунту на стиск з врахуванням зсуву та з використанням елемента KE36. Ґрунти основи та верхній шар асфальтобетону моделювався пластинчастими кінцевими елементами KE41 – універсальний прямокутний кінцевий елемент оболонки.

Враховуючи, що найбільший вплив на напружено-деформований стан дорожнього одягу чинить третя вісь автомобіля, прийнятого у дослідженнях (рис. 3), вивчали його зміну у залежності від розташування цієї вісі по відношенню до положення перехідної плити. Було розглянуто 4-и схеми розташування автомобіля, що «від'їжджав» від мосту при різних відстанях третьої вісі від опори мостової споруди: №1 - 3000 мм, №2 - 5380 мм, №3 - 6260 мм, №4 - 8500 мм.

На рис. 3 представлено фрагменти візуалізації напружено-деформованого стану дорожнього одягу.

Результати визначення напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу в зоні вузла спряження насипу автомобільної дороги з мостовою спорудою (стояном) представлені на рисунках 4 - 9.

Характер зміни вертикальних нормальних напружень в шарах дорожнього одягу у залежності від схеми розташування транспортного засобу (його 3-ої осі) до положення перехідної плити свідчить про те, що ці напруження в асфальтобетонних шарах змінюються майже однаково для різних схем розташування транспортних засобів і не залежать від зміни кута нахилу перехідної плити. У нижніх шарах

основи під асфальтобетонними шарами ці напруження на 20-40 % більші коли 3-я вісь знаходиться над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) у порівнянні з тим розташуванням навантаження, коли 3-тя вісь знаходиться поза межами плити (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4).

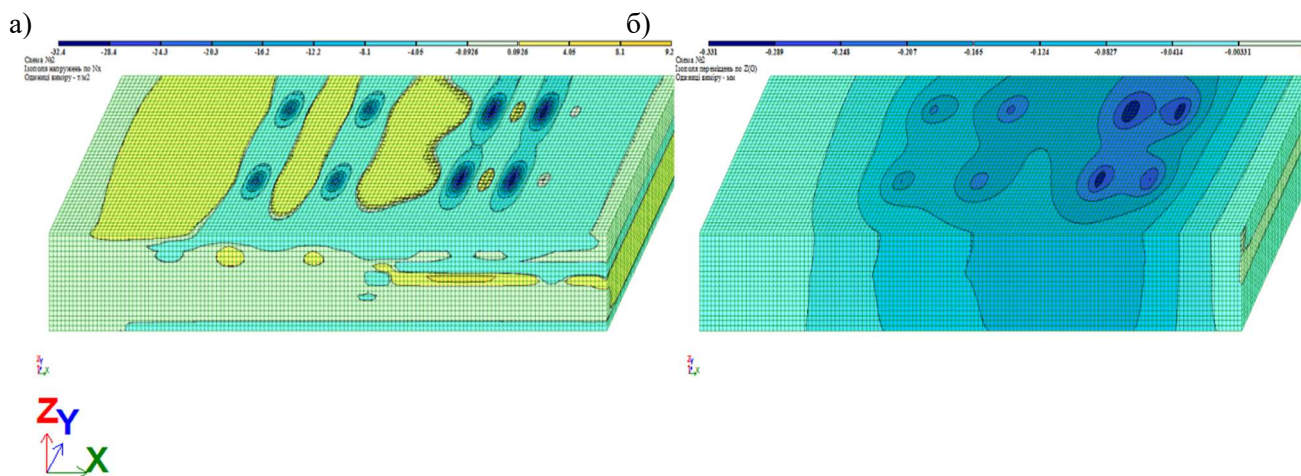


Рисунок 3 – Моделі роботи дорожнього одягу розроблені в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017: а) схема ізополів напружень NX (по осі X), що діють в запроєктованій моделі; б) схема ізополів переміщень Z(G) (по осі Z), що діють в запроєктованій моделі

Figure 3 – Models of pavement work are developed in the software complex LIRA CAD 2017: a) the scheme of voltage isopoles NX (on the X axis), operating in the designed model; b) the scheme of isopoles of displacements Z (G) (along the Z axis), operating in the designed model

Аналіз зміни вертикального прогину від місця розташування транспортного навантаження по відношенню до краю перехідної плити (рис. 4в та 4г) свідчить, що плавна його зміна до краю плити зазнає різкого збільшення при розташуванні 3-ї вісі транспортного засобу за краєм плити. У цьому випадку незалежно від кута нахилу перехідної плити така різка зміна вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %. Це свідчить про те що вертикальний прогин як інтегральний показник зміни напружено-деформованого стану не змінюється плавно при переході конструкції дорожнього одягу від розташування над перехідною плитою до розташування в межах насипу ґрунту земляного полотна. Такий характер зміни прогину поверхні покриття викликає виникнення більш несприятливих умов з точки зору дії горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу та у шарі основи укріпленої цементом, про що свідчать результати дослідження цих напружень, що представлені на рис. 5–9.

На рис. 5 представлена зміна горизонтальних розтягуючих напружень в поперечному (вздовж осі Y) та поздовжньому (вздовж осі X) напрямках в залежності від розташування транспортного засобу по відношенню до перехідної плити.

Ці результати свідчать про те, що ці напруження в нижній фібрі асфальтобетонних шарів є розтягуючими, як для схем розташування 3-ої вісі над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) так і за плитою (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4) незалежно від кута нахилу плити. Причому вони поза плитою більші ніж над плитою. У випадку горизонтальної плити ці напруження поза плитою на 25 % більші ніж над плитою. Таке суттєве скачкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою буде впливати на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5–2,0 рази.

Крім того слід звернути увагу на появу розтягуючих напружень на поверхні асфальтобетонних шарів у зоні навантаження дорожнього одягу поза перехідною плитою (рис. 5 – 9). Ці напруження хоча і не значні, однак при сумісному впливі з розтягуючими температурними напруженнями при зниженні температури можуть прискорювати процес тріщиноутворення асфальтобетонного покриття.

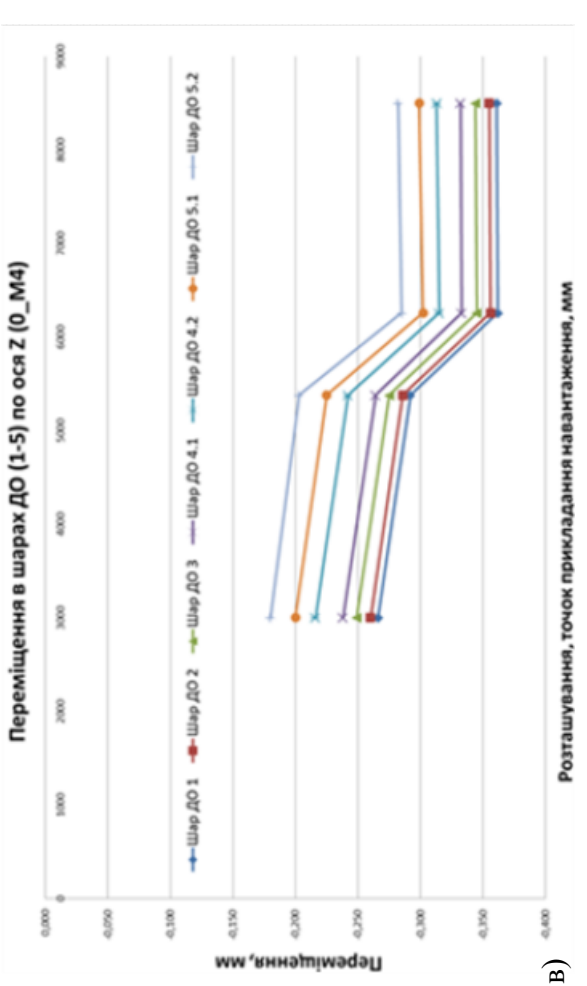
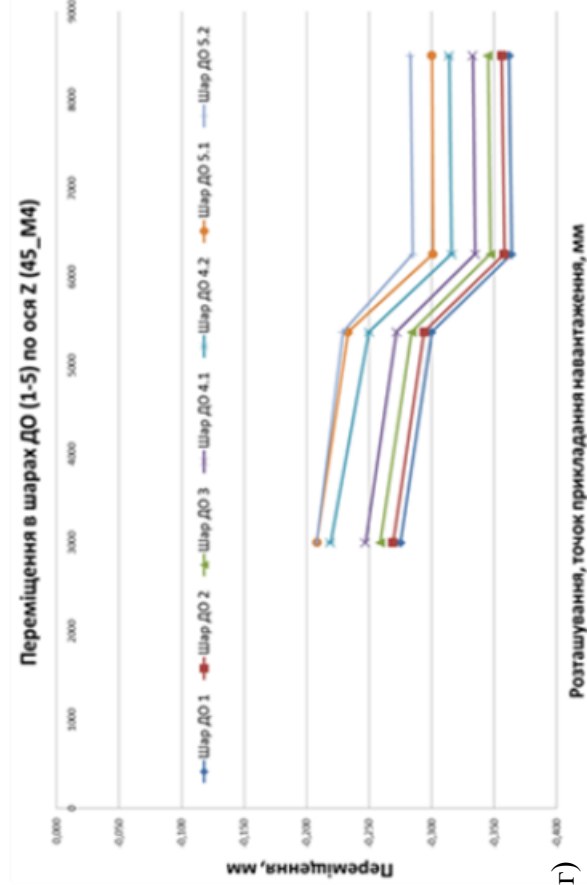
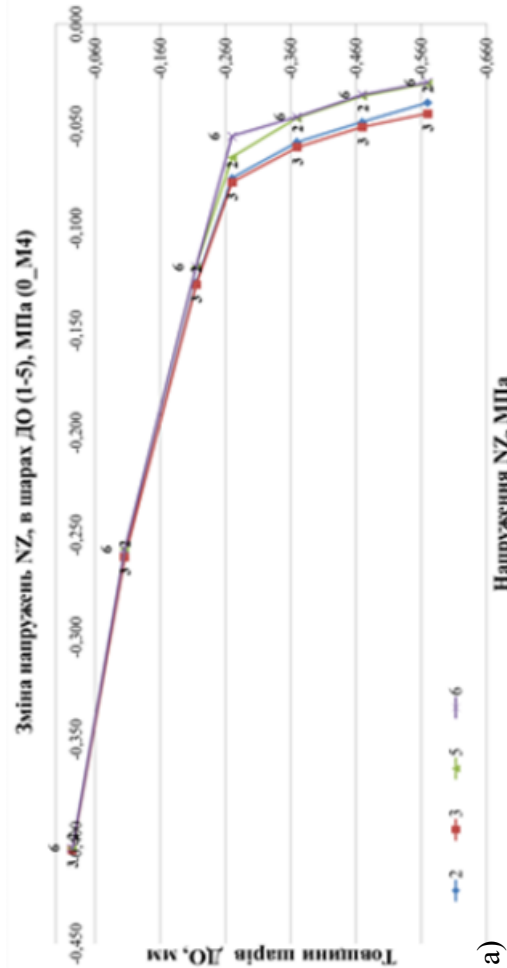
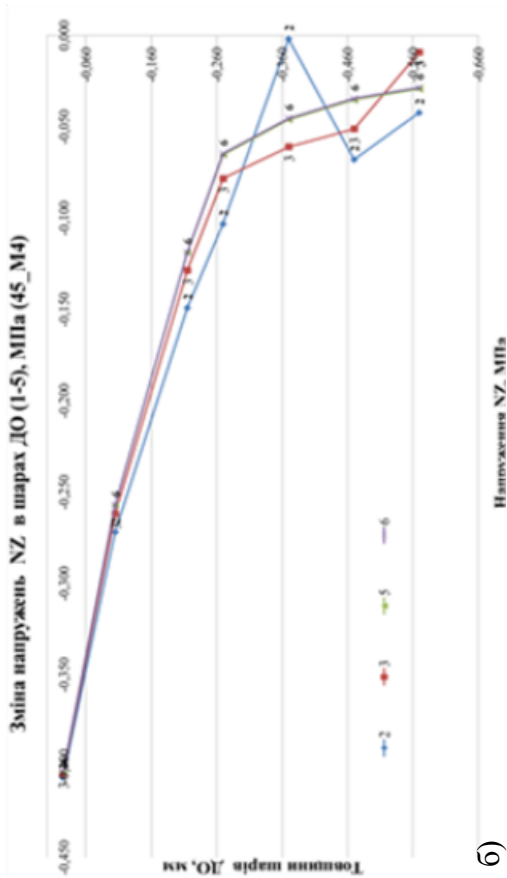


Рисунок 4 - Результати розрахунків виконаних в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017. Зміна переміщень та напружень в шарах ДО в площинах (полях) X, Y, Z  
 Figure 4 – Results of calculations made in the software complex LIRA CAD 2017. Changes of displacements and stresses in layers K in planes (fields) X, Y, Z

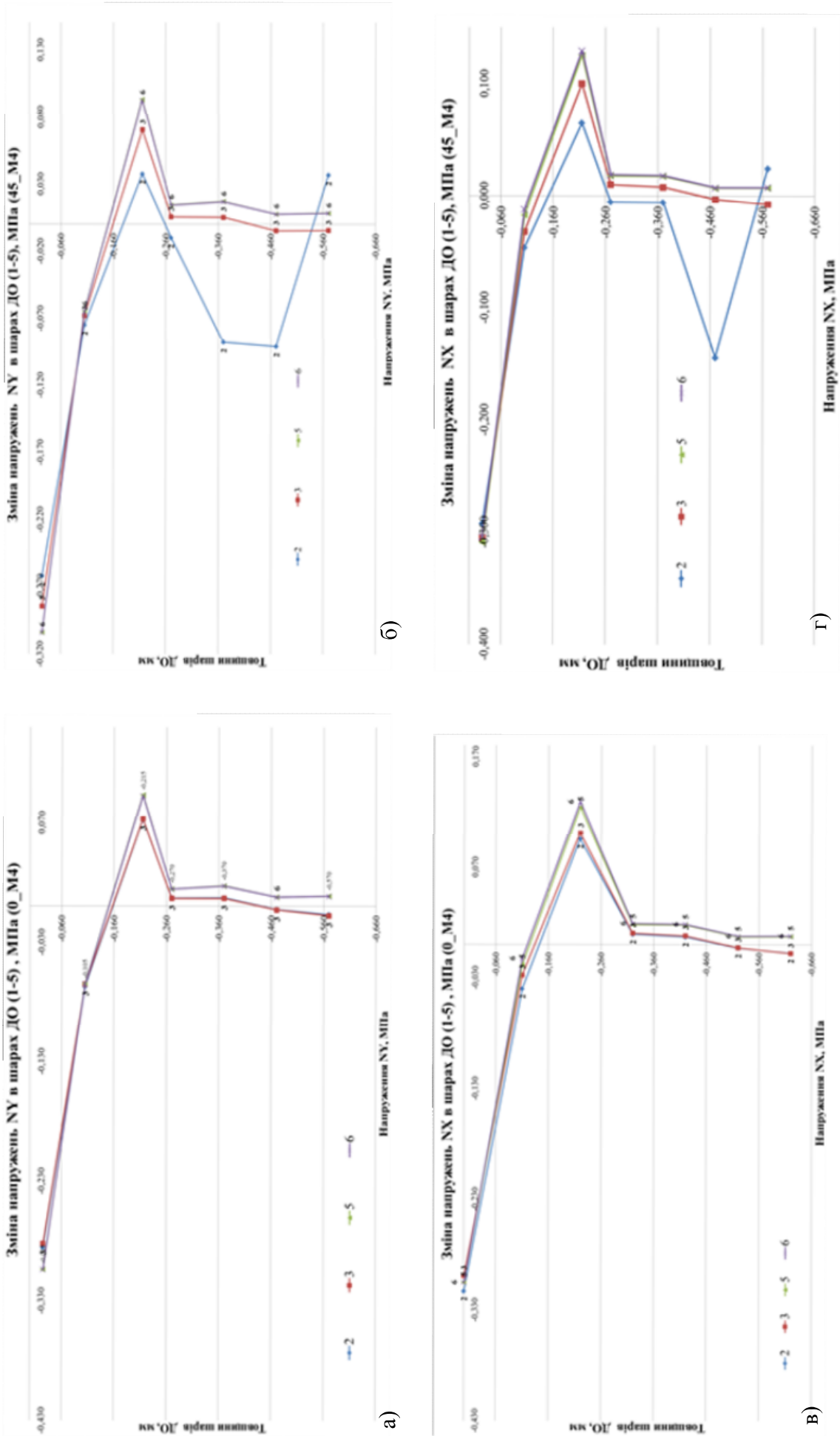


Рисунок 5 - Результати розрахунків виконаних в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017. Зміна переміщень та напружень в шарах ДО в площинах (полях) X, Y, Z  
Figure 4 – Results of calculations made in the software complex LIRA CAD 2017. Changes of displacements and stresses in layers K in planes (fields) X, Y, Z

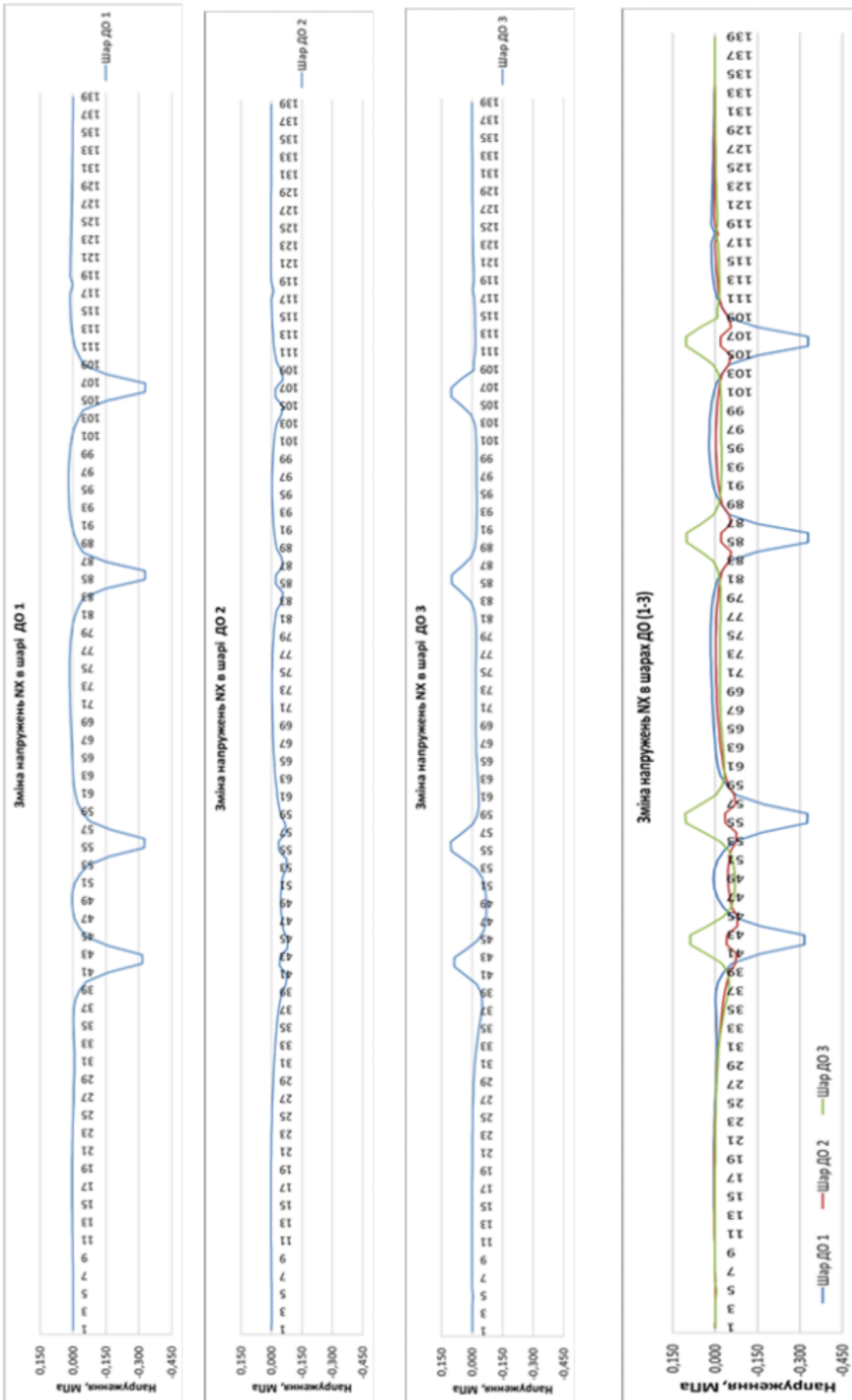


Рисунок 6 - Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 3  
 Figure 6 – Change of NX stresses in layers K (1-3), scheme 3

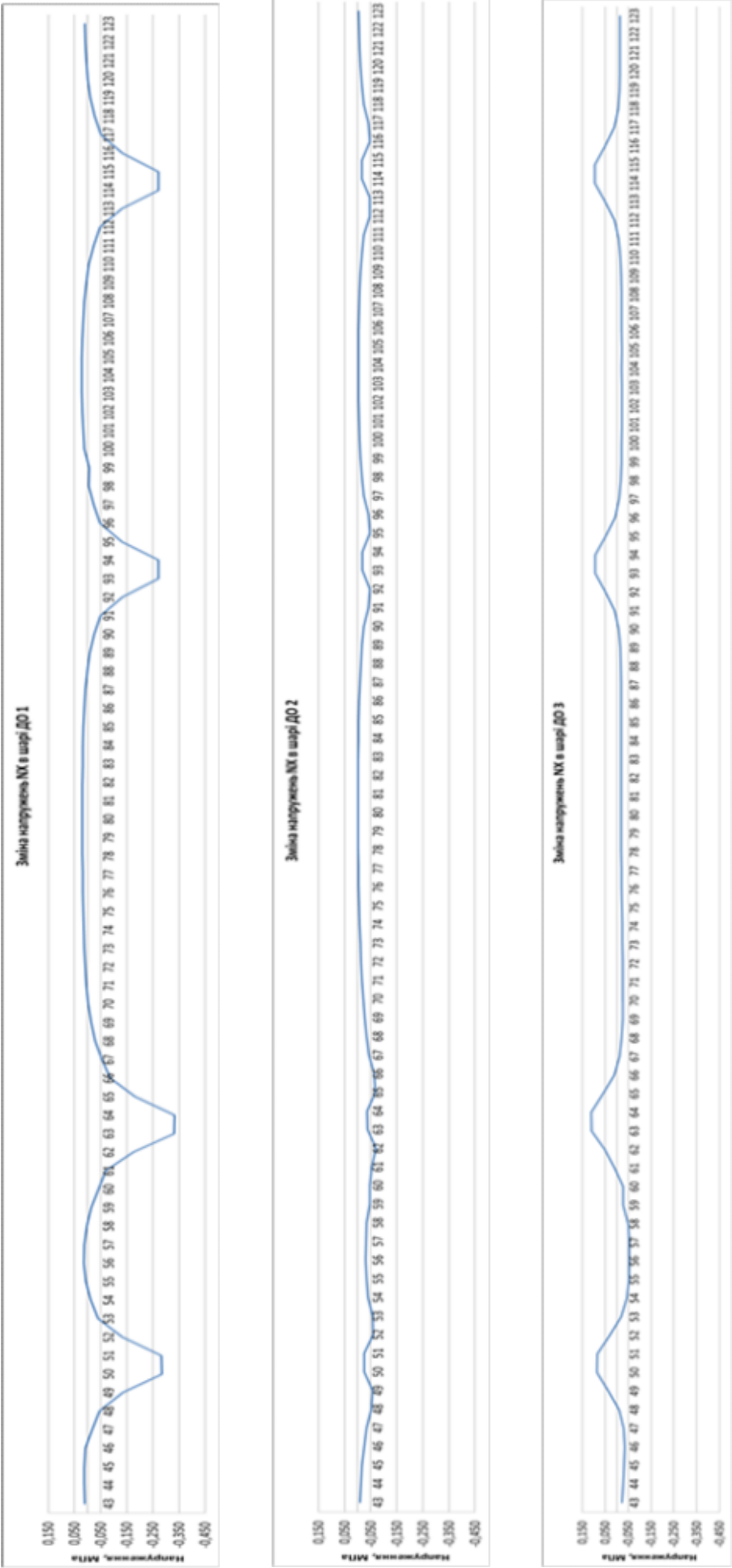
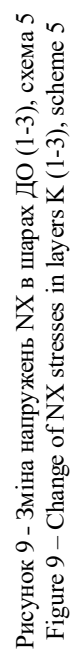


Рисунок 7 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 4  
Figure 7– Change of NX stresses in layers К (1-3), scheme 4



Рисунок 8 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 5  
 Figure 8 – Change of NX stresses in layers K (1-3), scheme 5



Таким чином на основі виконаного якісного аналізу напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз літературних даних свідчить про те, що підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостових споруд автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, є актуальним при вирішенні питання забезпечення тривалої і надійної роботи покриття дорожнього одягу та всього вузла сполучення мостової споруди з насипом;

2. Існуючі конструктивні рішення з перехідними плитами не забезпечують плавності зміни напружено-деформаційного стану дорожнього одягу покриття та асфальтобетонних шарів;

3. Незалежно від кута нахилу перехідної плити відбувається різке збільшення вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %, коли транспортне навантаження розташовується поза перехідною плитою у порівнянні з його значенням у випадку транспортного навантаження у межах перехідної плити.

4. У нижніх шарах основи під асфальтобетонними шарами вертикальні нормальні напруження на 20-40 % більші коли 3-тя вісь знаходиться над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) у порівнянні з тим розташуванням навантаження коли 3-тя вісь знаходиться поза межами плити (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4);

5. Суттєве стрибкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою буде впливати на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5-2 рази.

6. Отримані результати свідчать про необхідність більш детального кількісного аналізу впливових факторів на напружено-деформований стан та довговічність дорожнього одягу та весь вузол сполучення мостової споруди з насипом автомобільної дороги.

#### Перелік посилань

1. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. Київ. НТУ: наук.-виробн. збірник "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво" - 2019. - № 106.

2. Пегин П. А. Обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью / Пегин П. А., Лапин А. В. // ВЕСТНИК. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). - 2012. - № 3(30). - С. 92-95.

3. Попов В. И. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов / Попов В. И.

4. Edward J. Hoppe, Ph.D., P.E. Senior Research Scientist GUIDELINES FOR THE USE, DESIGN, AND CONSTRUCTION OF BRIDGE APPROACH SLABS Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia) Charlottesville, Virginia, November 1999.

5. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Чинний від 2005-09-03]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. - 20 с. - (Національні стандарти України)

6. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Чинний від 2005-09-03]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. - 20 с. - (Національні стандарти України).

7. Пестряков А.Н., Маринин, А.Н., Ситников С.В. Эксплуатация и диагностика мостов / Екатеринбург, - 2007.

8. JEAN-LOUIS BRIAUD, Ph.D., P.E. RAY W. JAMES, Ph.D., P.E., STACEY B. HOFFMAN, E.I.T. Settlement of Bridge Approaches (The Bump at the End of the Bridge) Synthesis of Highway Practice 234 Texas A&M University Transportation research board executive commiuee national academy press, Washington, D.C. 1997.

9. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilitidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.
10. Short, T. H., Wierschem, N. E., Denavit, M. D., and Bennett, R. M. (2018). Bump at the End of the Bridge: Review and Analysis of Rider Discomfort. Civil and Environmental Engineering Report Series, Report No. 1, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. – Режим доступу: [http://trace.tennessee.edu/ce\\_reports](http://trace.tennessee.edu/ce_reports)
11. Burdet O., Einpaul J., Muttoni A., Experimental investigation of soil – structure interaction for transition slabs of integral bridges, Structural Concrete, 16, 2015, pp 470-479.
12. Попов В. И. Совершенствование конструкции сопряжения путепроводов с насыпью путем применения интегральных устоев 2014 г. С. 166-178. – Режим доступу: <http://rosdornii.ru/files/dorogi-i-mosti/10-07-14/IV/12.pdf>
13. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Гайдачук В.В., Густелєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.
14. Мозговий В.В., Густелєв О.О., Гайдачук В.В., Шевчук Л.В. Аналіз деформування дорожнього покриття на металевій плиті Південного моста // Промислове будівництво та інженерні споруди: наук.-виробн. журнал. 2019. № 1. С. 31-38.
15. Мозговий В.В., Густелєв О.О., Гайдачук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги // Вісник НТУ. наук.-техн. збірник. 2017. Серія «Технічні науки», Вип. № 1 (37) С. 80-92.

## FEATURES OF STRESS-DEFORMED CONDITION OF NON-RIGID ROAD CLOTHING ON THE IN THE AREA OF BRIDGE APPROACH SLABS

**Solodkyy Serhiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of the Department of Motor Roads and Bridges, e-mail: [s.solodkyy@ukr.net](mailto:s.solodkyy@ukr.net), +380322582517, ORCID 0000-0001-9829-5123

**Kushnir Alexander Vladimirovich**, National Transport University, Department of Road Construction Materials and Chemistry, postgraduate student, [dornii48@gmail.com](mailto:dornii48@gmail.com), +380974432495, <https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

### Summary.

The article considers the peculiarities of the work of asphalt concrete layers in the area of the bridge and embankment and modern design solutions. The main types of defects of road clothes are noted.

The object of research - structures of road clothes in the bridge and embankment area.

The purpose of the work is to analyze the change of stresses in asphalt concrete layers of road along the entire length and thickness in the area of connection between the bridge and the embankment, taking into account the influence of the transition plate.

Research Method - A spatial finite element model was created in the software program LIRA CAD 2017, which allows to determine the stress-strain state of each structural element and calculations.

Changes in stresses in the asphalt layers of pavement above the transition plate in relation to stresses in the asphalt layers outside the transition plate are dangerous because they can cause the phenomenon of "key-board effect", which explains the formation of defects and reduces the durability of pavement structures.

The results of the article can be implemented in the design of road clothing in the area connection of the bridges and overpasses with the highway and the technology of their repair and construction.

Foreseeable assumptions about the development of the research object are the search for an optimal design of road clothing in the area connection of bridges and overpasses with an automobile road.

**Key words.** approaches to bridges, road clothes, asphalt concrete coating, transition plates.

### References

1. Kushnir O. V. Zabezpechenny dovgochnosti road clothing on the road to the bridge with asphalt concrete pokrittyam. Kiev. NTU - 2019. - No. 106.
2. Pegin P. A. Ensuring the evenness of the road surface and the safety of vehicles in places where the bridge is connected with the embankment / Pegin P. A., Lapin A. V. // VESTNIK. Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). - 2012. - No. 3 (30). - S. 92-95.
3. Popov V.I. Methods for interfacing structures of overpasses with embankments of approaches / Popov V.I.
4. Edward J. Hoppe, Ph.D., P.E. Senior Research Scientist Guidelines for the use, design, and construction of bridge approach slabs Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia) Charlottesville, Virginia, November 1999.
5. DBN V.2.3-14: 2006 Equip the transport. Bridges that trumpet. Rules for the project [Chinniy vid 2005-09-03]. - K. : Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2008. - 20 p. - (National standards of Ukraine)
6. DBN B.2.3-22: 2009. Equip the transport. Bridges that trumpet. The main vimogi of the project [Chinniy vid 2005-09-03]. - K. : Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2008. - 20 p. - (National standards of Ukraine)
7. Pestryakov AN, Marinin, AN, Sitnikov SV. Operation and diagnosis of bridges / Ekaterinburg, - 2007
8. JEAN-LOUIS BRIAUD, Ph.D., P.E. RAY W. JAMES, Ph.D., P.E., STACEY B. HOFFMAN, E.I.T. Texas A&M University Transportation research board executive commiuee national academy press, Washington, D.C. 1997.
9. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilotidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.
10. Short, T. H., Wierschem, N. E., Denavit, M. D., and Bennett, R. M. (2018). Bump at the End of the Bridge: Review and Analysis of Rider Discomfort. Civil and Environmental Engineering Report Series, Report No. 1, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, Knoxville, Knoxville, Tennessee. [http://trace.tennessee.edu/ce\\_reports](http://trace.tennessee.edu/ce_reports)
11. Burdet O., Einpaul J., Muttoni A., Experimental investigation of soil - structure interaction for transition slabs of integral bridges, Structural Concrete, 16, 2015, pp 470-479.
12. Popov V. I. Improving the design of the interface of viaducts with embankment by the use of integral foundations <http://rosdornii.ru/files/dorogi-i-mosti/10-07-14/IV/12.pdf> 2014. P. 166 -178.
13. Gulyaev V.I., Mozgovy V.V., Gaydachuk V.V., Gustulov O.O., Zaec Yu.O., Shevchuk L.V., Shlyun N.V. Thermal shock mill of bagatosharovyh road pokrittiv // Monograph - K.: NTU, 2018. --- 252 p.
14. Brain V.V., Gustulov O.O., Gaydaychuk V.V., Shevchuk L.V. Analysis of deformation of the road surface on a metal plate of the Pivdenny Bridge // Promislové Budivnitsvo and Engineering Equipment: Science.-Virobn. magazine. 2019.No 1. S. 31-38.
15. Mozgovy V.V., Gustulov O.O., Gaydaychuk V.V., Zaets Yu.O., Shevchuk L.V. Deacs of the law of thermal shock deformation of asphalt concrete road surface // News of NTU. science. zbirnik. 2017. Seriya "Technology", VIP. No. 1 (37) S. 80-92.

## ВПЛИВ ПЛАВЛЯЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ ХІМРЕАГЕНТІВ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

### THE INFLUENCE OF THE MELTING ABILITY TO TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THEIR APPLICATIONS



**Попелиш Іван Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, доцент, I\_I\_P@ukr.net, +380668827221

<https://orcid.org/0000-0003-3358-6565>



**Семенченко Оксана Василівна**, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, асистент, O.Semenchenko@ukr.net, +380671314124

<https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>



**Корітчук Сергій Олександрович**, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, асистент, K.s2501@ukr.net, +380938133430

<https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>

**Анотація.** Високий рівень безпеки руху транспортних засобів і регулярності польотів в осінньо-зимовий період експлуатації аеродромів і автомобільних доріг у значній мірі залежить від готовності злітно-посадкової смуги до виконання безпечних злітно-посадкових операцій, що, у свою чергу обумовлюється попередженням утворення ожеледі і ущільненого снігу на аеродромних і дорожніх покриттях або їх видалення в мінімальний термін. Найбільш економічно прийнятним способом виконання даної вимоги в наш час є використання сучасних протиожеледних хімічних реагентів.

Запропоновано підхід, щодо оцінки впливу протиожеледних хімічних реагентів на техніко-економічні показники їх застосування на аеродромах і автомобільних дорогах. Розглянуто основні фактори, які впливають на ефективність застосування протиожеледних хімічних реагентів при видаленні сніжно-льодових відкладень із покриттів доріг і аеродромів. Наведені порівняльні дані про найпоширеніші хімічні протиожеледні реагенти які застосовуються на аеродромах і автомобільних дорогах, вказані їх переваги і недоліки.

Результати дослідження можуть бути запропоновані в експлуатаційних службах доріг і аеродромів для внесення відповідних коректив в методи зимового утримування.

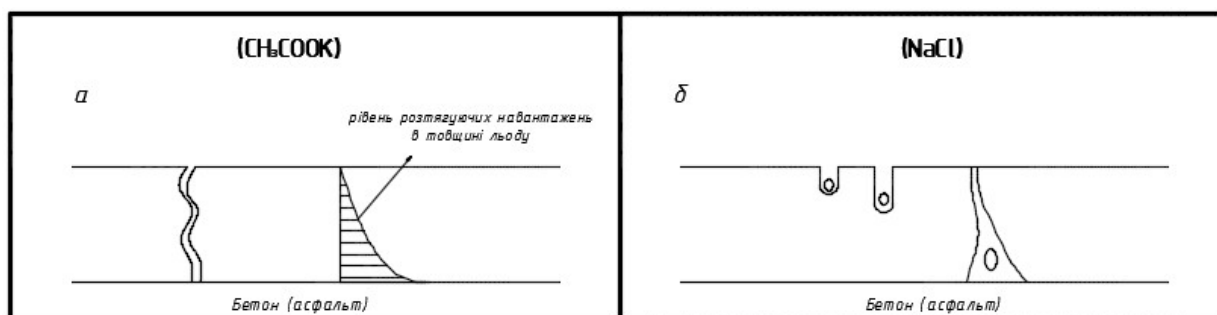
**Ключові слова.** Хімічні протиожеледні реагенти, автомобільна дорога, аеродром, сніг, ожеледь, графіки ефективності.

**Вступ.** Постійне зростання авіаційного і автомобільного парку транспортних засобів, збільшення об'єму вантажних та пасажирських перевезень пред'являють все більш жорсткі вимоги до утримання аеродромів та автомобільних доріг, особливо в зимовий період експлуатації, а також забезпечення безпеки руху по ним. Одним із завдань, що стоять на шляху вирішення даної проблеми є боротьба із зимовою слизькістю із застосуванням протиожезедних реагентів (ПОР). Одним з найважливіших показників якості протиожезедних реагентів є їх плавляча здатність. Під «**плавлячою здатністю**» розуміють кількість льоду в грамах, яке може розплавити один грам реагенту на одиницю оброблюваної поверхні при відомих температурах, товщині снігового або льодового шару, щільності снігу. Таким чином, саме плавляча здатність визначає основний показник протиожезедної речовини – здатність ефективно плавити лід і норми його витрати. Розчинення у загальному виді - це фізико-хімічний процес. Розчинення у воді NaCl - фізичний процес. При цьому відбувається руйнування кристалічної решітки і розподіл часток, що утворюються (іонів Na<sup>+</sup>) між молекулами води, необхідна енергія поглинається ззовні, відбувається охолодження. Частки солі швидко розтоплюють лід близько від себе. При цьому температура навколо цієї двофазної системи різко знижується. Розчинення снігу гальмується. Близько лежачі сніг або лід просочуються холодним солоним розчином, від чого танення ще більше гальмується внаслідок тривалого зниження температури. У такому напівзруйнованому стані ця система може зберігатися довго.

Плавляча здатність реагенту тим вище, чим більше зміст плавлючих солей. У вимогах до реагенту дана інформація повинна декларуватися. Неточності у визначенні норм витрат різних ПОР призводять до їх неекономічного використання, а також до позанормативного забруднення навколишнього середовища при надмірному їх застосуванні. Плавляча здатність хімічних протиожезедних реагентів у свою чергу залежить від багатьох факторів, а тому техніко-економічна ефективність застосування реагентів при різних умовах буде суттєво відрізнятися, що необхідно враховувати при розрахунках кількості реагента на одиницю поверхні покриття доріг і аеродромів для підтримки їх в експлуатаційно придатному стані при оптимальних економічних витратах. Для вирішення цієї задачі запропоновано в розрахунках техніко-економічної ефективності використовувати комплексний показник ефективності який враховує такі фактори як температура повітря, вид хімічного реагенту (рідкий чи гранульований), метод боротьби зі сніжно-льодовими відкладеннями (видалення чи попередження), товщина шару відкладень, вартість реагенту, кількість нанесень реагенту для підтримання покриття в ( експлуатаційному-придатному стані).

**Мета і методи.** Для попередження і видалення сніжно-льодових відкладень з поверхні покриттів доріг і аеродромів існує два метода плавлення льоду із застосуванням рідких і гранульованих реагентів. Механізм плавлення льодоутворень внаслідок впливу рідких і твердих реагентів різних. Вплив рідких реагентів відбувається за двома видами механізмів. Перший – це розчинення верхнього шару льоду через змішування з реагентами, що мають більш низьку температуру кристалізації. Зміна товщини льоду веде до спонукання другого механізму – зміни внутрішніх напруг у шарах льоду, що залишаються. Як правило, зростають розтягувальні напруги, під впливом яких у льоді виникають тріщини, що супроводжується чутним тріском. Хімреагенти мають високу проникаючу здатність, внаслідок чого вони спрямовуються в щілини, що утворилися, а потім поширюються між цементобетоном (асфальтобетоном) і льодом. У результаті лід втрачає адгезію і може бути прибраний щітками. Якщо лід дуже тонкий, у ньому малі внутрішні напруги, він переважно розчиняється, не встигнувши втратити адгезію. Швидкість розплавлення верхнього шару, як зазначалося вище, визначає швидкість прибирання льоду. Тому екзотермічне розчинення значно підвищує експлуатаційні якості реагенту. Всякий механічний вплив на процес розчинення льоду також прискорює процес його прибирання. Існують спеціальні машини, які проколюють лід (збільшують кількість тріщин), тим самим прискорюючи роботу реагенту між бетоном і шаром льоду. Видалення льоду в процесі його розплавлення також прискорює процес за описаним вище механізмом. На рис. 1а схематично показаний процес розплавлення льоду рідкими реагентами. Як загальне правило, потрібно відзначити, що рідкі реагенти щонайкраще працюють на тонких шарах льоду – навіть при низьких температурах. Тверді гранульовані реагенти працюють трохи інакше, рис. 1б. Потрапляючи на лід або сніг, гранула починає «пропалювати» вертикальний тунель. Швидкість утворення цього тунелю залежить від того, як протікає плавлення: з виділенням тепла або з поглинанням, а також від температури початку кристалізації, коли утвориться рідка фаза. Час проплавлення льоду або снігу залежить і від їхньої товщини. Після проплавлення льодовідкладень рідка фаза, як і в першому випадку з рідкими реагентами, починає поширюватися між льодоутворенням і підложкою (цементобетоном або асфальтобетоном). У міру зменшення

зчеплення льодоутворення з підложкою вони можуть видалятися. Прийнято вважати, що гранульованими реагентами переважніше користуватися у випадках товстих льодовідкладень.



а) Рідкий варіант

б) Гранульований варіант

Плавлення з виділенням тепла

$$Q = +8^{\circ}\text{C}$$

евтектика =  $-60^{\circ}\text{C}$

робоча =  $-60^{\circ}\text{C}$

Найбільш ефективний при тонкому шарі льоду

Плавлення з поглинанням тепла

$$Q = -10^{\circ}\text{C}$$

евтектика =  $-23^{\circ}\text{C}$

робоча =  $-8^{\circ}\text{C}$

Найбільш ефективний для товстих льодовідкладень

Рисунок 1 – Схема роботи рідкого і гранульованого протиожедних реагентів

Figure 1 – Scheme of work of a liquid and granular anti-icing reagents

### Плавляча здатність реагенту, нанесеного на льодоутворення

Плавляча здатність реагенту характеризується товщиною шару льоду, який розплавляється з плоскої поверхні льоду за прийняту одиницю часу. Критерієм придатності для застосування на аеродромах цивільної авіації є показник плавлячої при температурі  $-7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  за час 30 хв, який буде не менше 1 мм товщини розплавленого шару льоду відповідно до «Методам випробувань матеріалів для експлуатаційно-технічного утримання і відновлення штучних покриттів аеродрому» (2004 р.).

Величини товщини шару розплавленого льоду за 30 хв взаємодії реагенту «Нордіск-П» з льодом (**плавляча здатність**) при різних температурах повітря наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Величини товщини шару розплавленого льоду за 30 хв

Table 1 – The values of the layer thickness for molten ice for 30 minutes

| № дослідів | Середня температура<br>$^{\circ}\text{C}$ | Осереднена товщина розплавленого льоду (плавляча здатність), мм |                        |
|------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|
|            |                                           | 50%-ний водний розчин                                           | 100%-ний водний розчин |
| 1          | -6,2                                      | 2,03                                                            | 6,13                   |
| 2          | -7,7                                      | 1,47                                                            | 5,56                   |
| 3          | -8,5                                      | 1,25                                                            | 5,20                   |
| 4          | -8,8                                      | 1,20                                                            | 4,98                   |
| 5          | -10,2                                     | 0,97                                                            | 5,06                   |
| 6          | -11,2                                     | 0,70                                                            | 4,55                   |
| 7          | -14,2                                     | 0,20                                                            | 3,91                   |

### Результати і пояснення

Основними експлуатаційними факторами, що впливають на ефективність застосування ПОР є робоча температура їх застосування, кількість нанесень на покриття для підтримання їх в експлуатаційно-придатному стані, що забезпечує безпеку руху транспортних засобів по дорогах і виконання

безпечних злітно-посадкових операцій повітряними суднами на аеродромах, ціна обробки одного метра квадратного, кількість реагенту нанесеного на одиницю площі і т.д.

Дані фактори зведені в один – показник ефективності, графічні залежності зміни якого для різних хімреагентів наведені на рисунках 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Таблиця 2 – Плавляча здатність основних протиожеледних реагентів  
Table 2 – Floating ability of the main anti-icing reagents

| № зразку | Вид хімреагентів | Плавляча здатність (кг льду/кг солі) при температурі, °C |     |     |     |     |     |
|----------|------------------|----------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|          |                  | -5                                                       | -10 | -20 | -30 | -40 | -50 |
| 1        | Ацетат амонія    | 15,7                                                     | 7,3 | 3,3 | 2,3 | 1,8 | 1,4 |
| 2        | Ацетат калія     | 11,5                                                     | 5,7 | 2,7 | 1,9 | 1,6 | 1,3 |
| 3        | Ацетат магнія    | 7,3                                                      | 4,6 | 2,3 | 0   | 0   | 0   |
| 4        | Ацетат натрія    | 7,3                                                      | 4,6 | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5        | Ацетат кальція   | 5,7                                                      | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 6        | Форміат калія    | 11,5                                                     | 5,7 | 2,3 | 1,7 | 1,3 | 1,1 |
| 7        | Форміат натрія   | 11,5                                                     | 5,7 | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 8        | Хлорид натрія    | 13,3                                                     | 6,7 | 3,2 | 0   | 0   | 0   |
| 9        | Хлорид кальція   | 9,0                                                      | 5,7 | 3,5 | 2,8 | 2,6 | 0   |
| 10       | Хлорид магнія    | 5,0                                                      | 3,1 | -   | -   | -   | -   |
| 11       | НКММ             | 7,0                                                      | 3,8 | 1,3 | -   | -   | -   |
| 12       | АНС              | 6,0                                                      | 3,1 | -   | -   | -   | -   |
| 13       | КАС              | 5,0                                                      | -   | -   | -   | -   | -   |

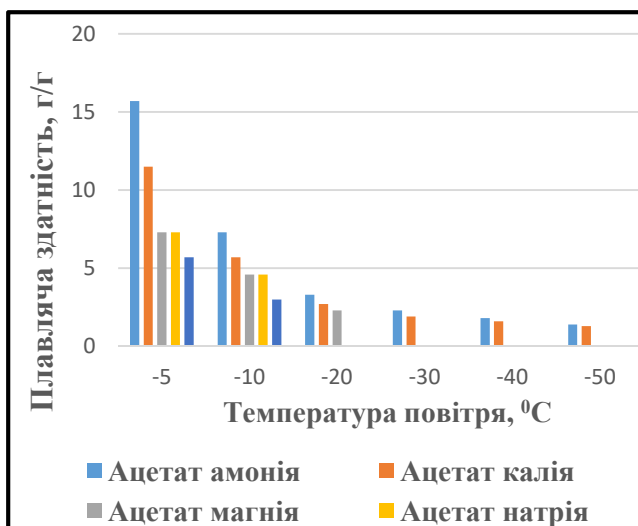


Рисунок 4 – Залежність плавлячої здатності протиожеледних реагентів ацетатної групи від температури повітря

Figure 4 – Dependence of the melting ability of anti-icing reagents of the acetate group on air temperature

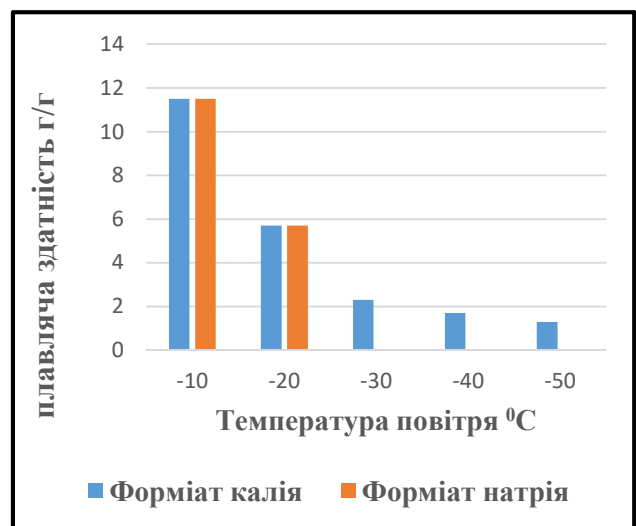


Рисунок 5 – Залежність плавлячої здатності протиожеледних реагентів форміатної групи від температури повітря

Figure 5 – Dependence of the melting of anti-icing reagents of the formate group on air temperature

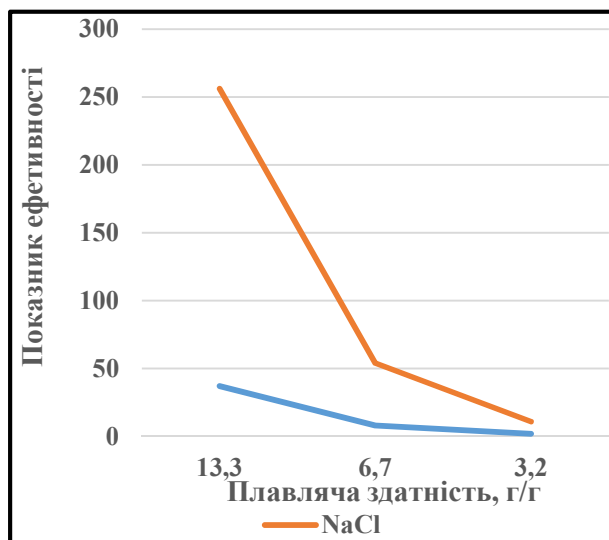


Рисунок 6 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів хлорида натрія при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 6 – Dependence of the efficiency indicator for anti-icing reagents of the sodium chloride with one time and multiple application to the pavement from its melting ability

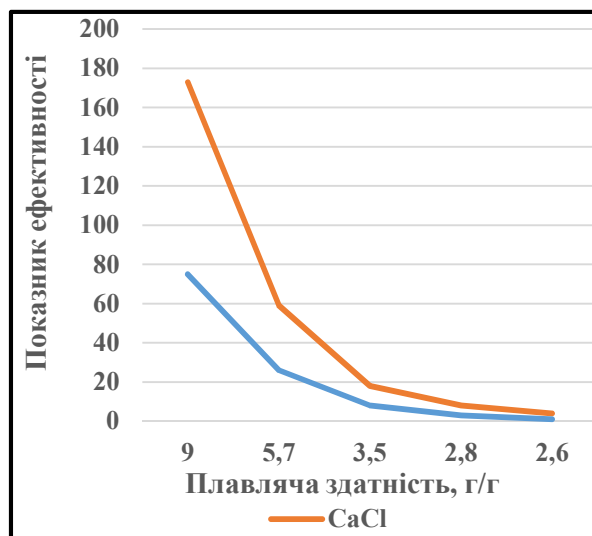


Рисунок 7 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів хлорида кальція при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 7 – Dependence of the efficiency indicator for anti-icing reagents of the calcium chloride with one-time and multiple application to the pavement from its melting ability

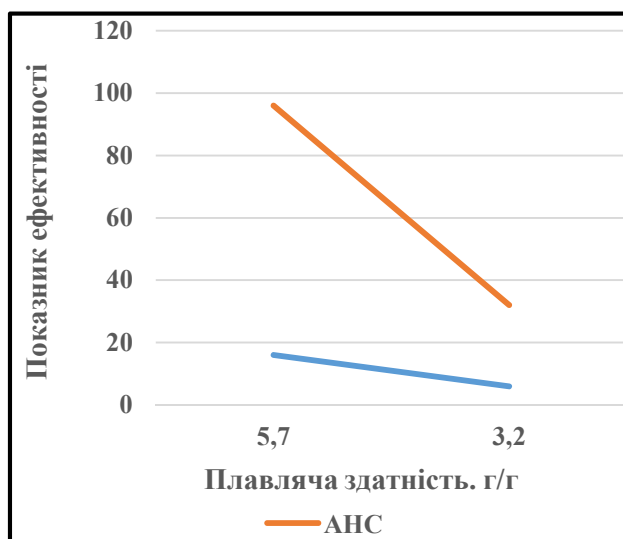


Рисунок 8 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів антиожеледно корозійного складу при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 8 – Dependence of the efficiency indicator of the application of anti-icing reagents anti-icing corrosion compound with one-time and multiple application to the coating on its melting capacity

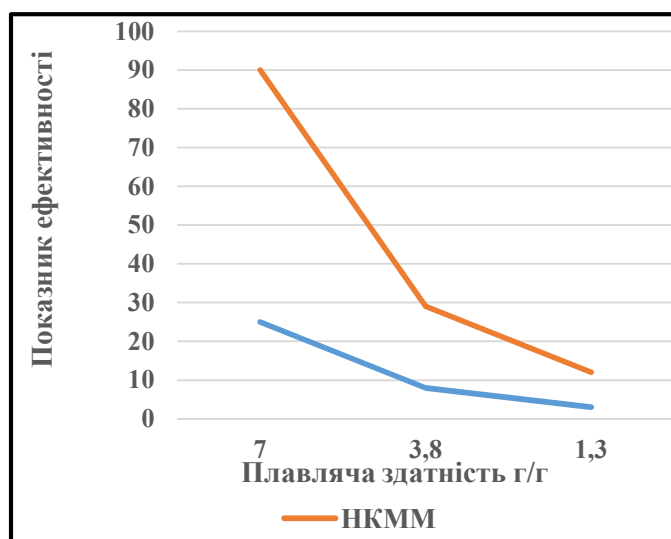


Рисунок 9 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів нітрату кальція, магнія, мочевины при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 9 – Dependence of the efficiency indicator of anti-icing nitrate, calcium, magnesium, urea reagents with one-time and multiple application to the coating on its melting ability

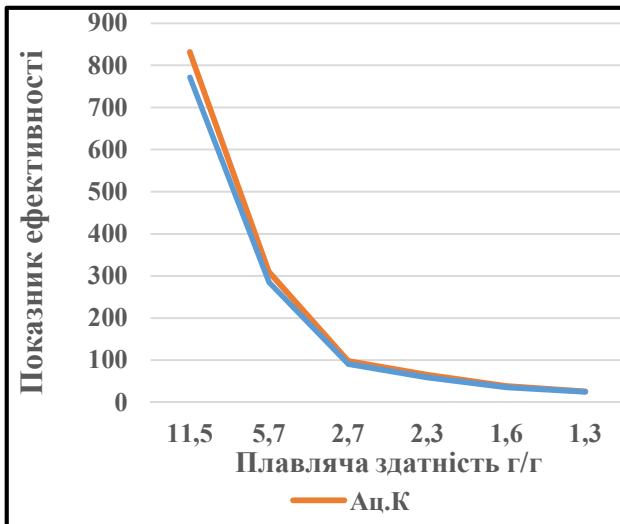


Рисунок 10 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів ацетата калія при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 10 – Dependence of the efficiency index of using anti-icing potassium acetate reagents with one-time and multiple application to the coating on its melting ability

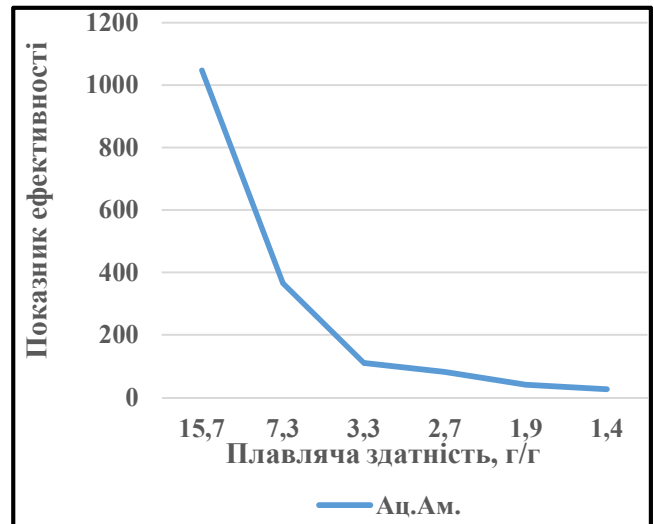


Рисунок 11 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів ацетата амонія при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 11 – Dependence of the efficiency indicator of using anti-icing acetate ammonia reagents with one-time and multiple application to the coating on its melting ability

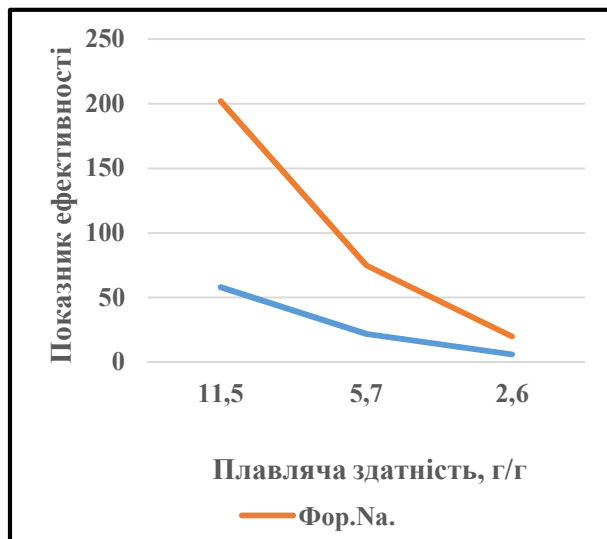


Рисунок 12 – Залежність показника ефективності застосування протиожеледних реагентів форміата натрія при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 12 – Dependence of the efficiency indicator of the application of anti-icing formiate sodium reagents with one-time and multiple application to the coating from its melting ability

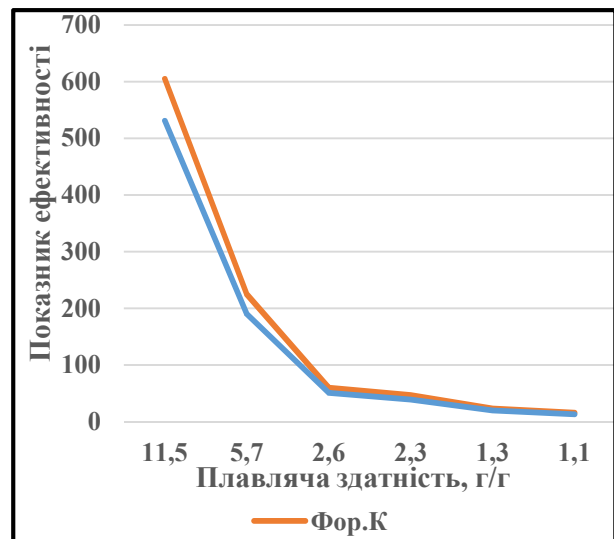


Рисунок 13 – Залежність показника ефективності застосування ПОР форміата калія при одноразовому і багаторазовому нанесення на покриття від його плавлячої здатності

Figure 13 – Dependence of the efficiency indicator of the application of anti-icing formite potassium reagents with one-time and multiple application to the coating on its melting ability

### Висновки

У статті, на основі виконаних авторами досліджень запропонований показник ефективності застосування основних протиожедних хімічних реагентів які застосовуються на аеродромах і дорогах. Досліджена залежність показника ефективності від плавлячої здатності, температури повітря, вартості реагента, кількості нанесень на покриття, робочої температури застосування реагента, кількості реагента на одиницю площі покриття. Встановлені закономірності зміни показника ефективності застосування різних груп реагентів в залежності від наведених факторів.

### Перелік посилань

1. Керівництво по аеропортовим службам: Частина 2. Стан поверхні покриттів. ІКАО, 2002.
2. Наказ Міністерства оборони України від 01.07.2013 № 441 «Про затвердження Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України».
3. Циркуляр ІКАО 329-AN/191 Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012.
4. Шишков А.Ф., Запорожець В.В., О.Н.Білякович. Аеропорт: Теорія й практика зимового утримування аеродромів. -К.: Дніпро, 2006 р, 196 с.
5. Орлов В.А. Теория и практика борьбы с ожеледью. - М.: Повітряний транспорт, 2010. 112 с.
6. Белинский А.А., Закревский А.І., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов.- Киев: КМУГА, 1996.-240 с.
7. Эксплуатация аэродромов. Справочник / Под ред. Л.И. Горещкого - М.: Транспорт, 1990. - 287 с.
8. Експлуатація аеродромів: підручник, для студентів вищих закладів освіти/ М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, І.А. Рутковська, І.І. Попелиш, С.О. Корітчук. – К.: НТУ, 2018. – 420 с.

### THE INFLUENCE OF THE MELTING ABILITY TO TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THEIR APPLICATIONS

**Popeshil Ivan Ivanovich**, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Department of Airports, Associate Professor, I\_I\_P@ukr.net, +380668827221, <https://orcid.org/0000-0003-3358-6565>

**Semenchenko Oksana Vasylivna**, National Transport University, Senior Lecturer, Department of Transportation Systems and Road Safety, O.Semenchenko@ukr.net, +380671314124, <https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>

**Koritchuk Sergey Aleksandrovich**, National Transport University, Department of Airports, Assistant, K.s2501@ukr.net, +380938133430, <https://orcid.org/0000-0001-5100-873X>

**Summary:** High level of vehicles safety and regularity of flights in autumn and winter operation of airports and roads is largely dependent on the runway to perform a safe landing operations, which in turn is conditioned to prevent the formation of ice and compacted snow on airport and road surfaces or their removal in minimum time. The most economically feasible way to comply with this requirement nowadays is the use of modern antiglaze chemicals.

The approach, to assess the impact of chemicals on antiglaze technical and economic performance of their application on the ground and roads. The main factors that affect the efficacy of chemicals antiglaze when removing snow and ice deposits from the surfaces of roads and airfields. These comparative data on the most common chemical reagents used antiglaze airfields and roads have indicated their advantages and disadvantages.

Results of the study may be proposed in operational roads and airfields service for appropriate adjustments in methods of winter maintenance.

**Keywords.** Antigaze Chemical reagents, automobil road, airfield, snow, ice, graphics of effectiveness.

### References

1. AIRPORT MANAGEMENT: Part 2. Condition of surface coatings. ICAO, 2002.
2. Order of the Ministry of Defense of Ukraine of 01.07.2013 № 441 "On approval of the Instruction on the operation of airfields of the State Aviation of Ukraine".
3. ICAO Circular 329-AN / 191 Runway Surface Condition: Evaluation, Measurement, and Data Representation. ICAO, 2012.
4. Shishkov A.F, Zaporozhets V.V, O.N. Bilyakovich. Airport: Theory and practice of winter maintenance of airfields. -K .: Dnepr, 2006, 196 s.
5. Orlov V.A. Theory and practice of Borobs with an obese. - M .: Povitryany transport 2010. 112 s.
6. Belinsky A.A., Zakrevsky A.I., Shinkarchuk N.V. Technical maintenance of aerodromes. - Kiev: MNCU, 1996.-240 s.
7. Operation of airfields. Handbook / Ed. L.I. Goretsky - M .: Transport, 1990. - 287 s.;
8. Exploitation of airfields: textbook, for students of higher educational institutions / M.F. Dmitrichenko, M.M Dmitriev, I.P Gamelyak, I.A Rutkovskaya, I.I. Popelish, S.O. Koritchuk - K.: NTU, 2018. - 420 s.

## АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ МАСИВІВ ДАНИХ

### ANALYSIS OF MACHINE LEARNING TOOLS FOR ANALYSIS OF LARGE DATA SETS



**Пронін Сергій Вікторович**, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. [psv59777@gmail.com](mailto:psv59777@gmail.com), [sergiy9977@ukr.net](mailto:sergiy9977@ukr.net), тел.: 050-181-22-74, 057-707-37-43. 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.



**Усиченко Олена Юріївна**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри будівництва та експлуатації доріг, Національний транспортний університет. [fbk@ukr.net](mailto:fbk@ukr.net), тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.

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

**Анотація:** Розглядається одна з можливих ідей застосування парадигми великих даних - можливість створення програм для аналізу різноманітної інформації. Для рішення цієї задачі у статті розглядаються різні інструменти машинного навчання які дозволяють створювати кінцеві додатки в сфері аналізу даних. Аналіз включає в себе огляд мов програмування і їх функціональні можливості для створення готових додатків в сфері аналізу даних.

**Ключові слова:** Машинне навчання, аналіз даних, бібліотека scikit-learn

#### Введення

Світовий обсяг цифрованої інформації зростає по експоненті. За даними компанії IBS, до 2003 року світ накопичив 5 ексабайт. До 2008 року цей обсяг зріс до 0,18 зеттабайт до 2011 року - до 1,76 зеттабайт, до 2013 року - до 4,4 зеттабайт. У травні 2015 року глобальна кількість даних перевищила 6,5 зеттабайт. На 2020 рік, за прогнозами, людство сформує 40-44 зеттабайт інформації.

За розрахунками IBS, в 2013 році тільки 1,5 % накопичених масивів даних мало інформаційну цінність. У зв'язку з цим активно розвиваються технології обробки великих даних. Вони дозволять структурувати інформацію і отримати з цього користь. Аналіз великих даних дозволить побачити приховані закономірності, непомітні обмеженому людському сприйняттю. Це дає безпрецедентні можливості оптимізації всіх сфер нашого життя: державного управління, медицини, телекомунікації, фінансів, транспорту, виробництва і так далі.

Методи машинного навчання застосовуються в різноманітних областях і допомагають вирішувати безліч завдань: від виявлення спаму і актів шахрайства до розпізнавання і генерації зображень і музичних композицій.

Технологія машинного навчання на основі аналізу даних бере початок в 1950 році, коли почали розробляти перші програми для гри в шашки. За минулі десятиліття загальний принцип не змінився. Зате завдяки бурхливому зростанню обчислювальних потужностей комп'ютерів багаторазово ускладнилися закономірності і прогнози, створювані ними, і розширилося коло проблем і завдань, що вирішуються з використанням машинного навчання [1].

Щоб запустити процес машинного навчання, для початку необхідно зібрати інформацію і сформувати інформаційний масив придатний для алгоритму який буде обробляти запити. Процес навчання триває і після виданих прогнозів, чим більше даних ми проаналізували програмою, тим більш точно вона розпізнає потрібні зображення.

Таким чином основна ідея машинного навчання полягає в тому, щоб навчити комп'ютер "вчитися", тобто виокремлювати з будь-яких даних корисні знання.

У зв'язку з швидким зростанням обсягу інформації виникає гостра необхідність в обробці та структуруванні цієї інформації для її подальшого використання в навчанні моделі, яка на виході буде давати результат. Першим етапом побудови моделі класифікації є збір і попередня обробка даних – цей процес знаходиться на стику таких розділів як: Великі дані (Big data) [2] та інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) [3].

Big data або Великі дані - це загальна назва для великих масивів даних і методів їх обробки. Такі дані ефективно обробляються за допомогою масштабованих програмних інструментів, які з'явилися в кінці 2000-х років і стали альтернативою традиційних баз даних і рішень Business Intelligence [3]. Аналіз великих даних проводять для того, щоб отримати нову, раніше невідому інформацію. Подібні відкриття називають інсайтом, що означає осяяння, здогад, раптове розуміння.

Великі дані покликані здійснювати три операції. По-перше, обробляти великі в порівнянні з «стандартними» обсягами даних. По-друге, вміти працювати з швидко динамічними даними в дуже великих обсягах. Тобто даних не просто багато, а їх постійно стає все більше і більше. По-третє, вони повинні вміти працювати зі структурованими і погано структурованими даними паралельно в різних аспектах. Великі дані припускають, що на вхід алгоритми отримують потік не завжди структурованої інформації і що з нього можна витягти більше ніж одну ідею.

В якості визначальних характеристик для великих даних традиційно виділяють «три V»: обсяг (англ. Volume, в сенсі величини фізичного обсягу), швидкість (velocity в сенсах як швидкості приросту, так і необхідності високошвидкісної обробки і отримання результатів), різноманіття (variety, в сенсі можливості одночасної обробки різних типів структурованих і напів структурованих даних) надалі були створені різні варіації і інтерпретації цієї ознаки [2].

Data Mining або інтелектуальний аналіз даних. Data Mining - це процес виявлення в "сирих" даних раніше невідомих нетривіальних практично корисних і доступних інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень в різних сферах людської діяльності. Data Mining є одним з кроків Knowledge Discovery in Databases [3].

Інформація, знайдена в процесі застосування методів Data Mining, повинна бути нетривіальною і раніше невідомою, наприклад, середні продажі є такими. Знання повинні описувати нові зв'язки між властивостями, передбачати значення одних ознак на основі інших. Знайдені знання повинні бути застосовні і на нових даних з деякою мірою вірогідності. Корисність полягає в тому, що ці знання можуть приносити певну вигоду при їх застосуванні. Знання повинні бути зрозумілі для користувача не математичному вигляді. Наприклад, найпростіше сприймаються людиною логічні конструкції "якщо ... то ...". Більш того, такі правила можуть бути використані в різних СУБД в якості SQL-запитів. У разі, коли витягнуті знання непрозорі для користувача, повинні існувати методи обробки поста, що дозволяють привести їх до інтерпретованих.

Ця стаття розглядає одну з можливих ідей застосування парадигми великих даних - можливість створення програм для аналізу різноманітної інформації. Успішне вирішення такого завдання може бути використано, зокрема, в сфері інтернет-комерції — знання про те, який товар краще для покупця, допомагають ефективніше організувати контекстні пропозиції товарів, що в свою чергу веде в збільшення ефективності бізнесу в цілому.

Метою даної роботи буде огляд сучасних інструментів для створення систем аналізу великих масивів даних.

Серед завдань дослідження можна виділити:

- виявлення етапів процесу аналізу даних;
- вибір мови програмування;
- огляд бібліотек для роботи з даними.

### Етапи інтелектуального аналізу даних

Для процесу інтелектуального аналізу даних існують цілком певні стандарти процесу, наприклад Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) або SEMMA. У загальному випадку, обидва цих стандарту схожі, за винятком, можливо, іменування етапів роботи [4].

Стандарт передбачає п'ять глобальних фаз процесу аналізу даних (рис.1):

1. Business Understanding - первісна фаза, ставить перед собою розуміння поставленого завдання з точки зору бізнесу. Також, на цій фазі формується проблема аналізу даних, яка буде вирішуватися, ставляться завдання, які будуть виконані в процесі досягнення бізнес-мети.

2. **Data Understanding** - фаза фокусується на первинному аналізі даних з точки зору проблем їх збору, проблем якості даних. Також в цій фазі робляться початкові припущення про способи аналізу, характер прихованих законів і ін.

3. **Data Preparation** - фаза покриває процеси отримання початкової вихідної інформації, трансформування її в підсумкову вибірку, яка буде подана на вхід моделям аналізу. Проводяться як відбір ознак, так і рішення проблем неякісних даних — відновлення пропусків і позбавлення від викидів в даних.

4. **Modeling** - фаза описує використання різних методик побудови моделей аналізу, а також процеси настройки параметрів моделей для досягнення оптимального результату. Процес вибору моделі для розв'язання прикладної задачі аналізу користувачів, а також теоретичні положення побудови моделі і її настройки будуть описані далі в поточному розділі.

5. **Evaluation** - дана фаза фокусується на оцінці результатів моделювання з точки зору аналізу даних. Проводиться перевірка всіх положень і теорій, які використовуються в процесі аналізу, наводяться критерії успішного вирішення бізнес-завдання. Поставлені в фазі **Business Understanding** мети повинні бути досягнуті.

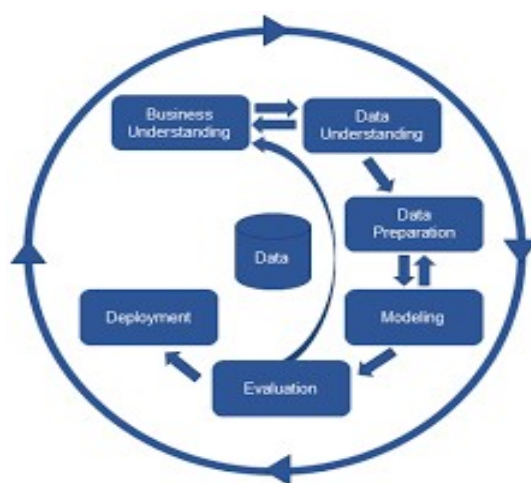


Рисунок 1 – Фази інтелектуального аналізу даних  
Figure 1 - Phases of data mining

#### **Задачі які вирішуються за допомогою машинного навчання**

Серед основних задач машинного навчання можна виділити наступні:

- задача регресії — прогноз на основі вибірки об'єктів з різними ознаками;
- задача класифікації — отримання категоріальної відповіді на основі набору ознак;
- задача кластеризації — розподіл даних на групи;
- задача зменшення розмірності — зведення великого числа ознак до меншого (зазвичай 2-3) для зручності їх подальшої візуалізації (наприклад, стиснення даних);
- задача виявлення аномалій — відділення аномалій від стандартних випадків. На перший погляд вона збігається із завданням класифікації, але є одна істотна відмінність: аномалії - явище рідкісне, і навчальних прикладів, на яких можна машино навчити модель на виявлення таких об'єктів, або мало, або просто немає, тому методи класифікації тут не працюють. На практиці таким завданням є, наприклад, виявлення шахрайських дій з банківськими картами;
- задача прогнозування — об'єктами є відрізки часових рядів, що обриваються в той момент, коли потрібно зробити прогноз на майбутнє. Для вирішення завдань прогнозування часто вдається пристосувати методи регресії або класифікації, причому в другому випадку мова йде скоріше про завдання прийняття рішень[3].

Вище названі задачі в системах машинного навчання вирішуються за допомогою таких методів як:

- нейронні мережі;
- логістична і пробіт-регресія;
- дерева рішень;

- метод найближчого сусіда;
- метод опорних векторів;
- дискримінантний аналіз;
- байєсівська(наївна) класифікація.

### Вибір мови програмування

На сьогодні в сфері інтелектуальних систем найбільш поширеними мовами програмування є Python і Java. Це можна пояснити, з одного боку, особливостями мови Python, що дозволяє вирішувати завдання машинного навчання, а з іншого популярністю і поширеністю мови Java на якому створюється велика кількість проектів. Крім функціоналу для застосування машинного навчання мову Python [5] дає, крім іншого, такі переваги як вільне поширення, широка підтримка і кроссплатформенність, що дає можливість створювати при-розкладання для проектів, написаних іншою мовою. З чого можна зробити висновок, що в якості мови для створення систем аналізу даних краще використовувати Python.

Найбільш поширеними інструментами для роботи з аналізом великих даних на нинішній часний день є мови програмування R і Python, а також набір пов'язаних з цими мовами бібліотек машинного навчання і роботи з даними [5].

Мова програмування R - мова програмування, призначена для статистичної обробки даних і роботи з графікою, але в той же час це вільна програмне середовище з відкритим вихідним кодом, що розвивається в рамках проекту GNU. R отримав широке поширення в сферах, де проводиться робота з даними. Основна обчислювальна потужність R полягає в статистичному аналізі, проте він також володіє широким функціоналом для первинного аналізу даних (побудова графіків і таблиць спряженості) і математичного моделювання.

Мова програмування Python - високорівнева універсальна інтерпретована мова сценаріїв. При розробці мовою Python велика увага приділяється простоті і зрозумілості синтаксису, що не тільки скорочує час вивчення його основ, але і підвищує швидкість розробки в цілому [8]. Це далеко не всі переваги даної мови, основні з них:

- об'єктно-орієнтованість;
- вільне поширення і широка підтримка;
- кроссплатформенність;
- розвинені функціональні можливості.

Кроссплатформенність мови досягається завдяки його реалізації на переносимому ANSI C, що дозволяє програмам, написаним на мові Python, однаково добре компілюватися і виконуватися на будь-яких платформах, де встановлена сумісна версія Python.

Гібридна природа Python об'єднує в собі простоту і зручність мов сценаріїв і потужності компілює мов, що робить Python зручним засобом розробки додатків різного типу. Однак найбільша ефективність мови досягається при вирішенні задач аналізу даних і автоматизації процесів. Python широко використовується в дослідницьких роботах. Мова програмування Python має потужний вбудованим інструментарієм (вбудовані типи об'єктів і динамічна типізація, автоматичне керування пам'яттю) і можливістю використання зовнішніх бібліотек і утиліт сторонніх розробників для вирішення більш вузькоспеціалізованих завдань.

Python використовується не тільки окремими користувачами, але і компаніями, включаючи комерційне використання. наприклад:

- компанія Google широко використовує Python в своїй пошуковій системі і для створення фреймворка App Engine. Також Google розроблена вільно розповсюджувальна бібліотека для машинного навчання - Tensor Flow;

- служба колективного використання відеоматеріалів YouTube в значній мірі реалізована на мові Python. - виробники електронних пристроїв і комп'ютерних компонентів (такі, як Intel, Cisco, Hewlett-Packard, Seagate, Qualcomm і IBM) використовують Python для тестування апаратного забезпечення.

- компанія з виробництва геоінформаційних систем (Environmental Systems Research Institute) використовує Python в якості інструменту налаштування своїх програмних продуктів під потреби кінцевого користувача.

Для вирішення завдання проаналізуємо доступні бібліотеки по роботі з даними на мові Python.

### Фреймворк Apache Spark

Так як дані часто мають неструктурований («сирий») вид для подальшої роботи з ними виникає необхідність в їх структуруванні. Це завдання вирішується за допомогою фреймворка Spark [6].

Apache Spark - це аналітичний движок з відкритим вихідним кодом, який використовується для робочих навантажень з великими даними. Він може обробляти як пакети, так і робочі навантаження аналітики і обробки даних в реальному часі. Apache Spark стартував у 2009 році як дослідницький проєкт в Каліфорнійському університеті в Берклі. Дослідники шукали спосіб прискорити обробку завдань в системах Hadoop. Він заснований на Hadoop MapReduce і розширює модель MapReduce, щоб ефективно використовувати її для більшої кількості типів обчислень, включаючи інтерактивні запити і потокову обробку. Spark надає власні прив'язки для мов програмування Java, Scala, Python і R. Хоча робочими мовами є Scala і Python, згодом в нього була додана значна частина коду на Java. Це пояснюється широким поширенням мови Java і великою кількістю написаних на ньому проєктів. Це дає можливість використовувати Spark в проєктах написаних на Java.

Spark має такі розширень, як:

- Spark SQL - SQL-запити над даними,
- Spark Streaming -надстройка для обробки поточкових даних,
- Spark MLlib -Набір бібліотек машинного навчання;
- GraphX - розподілена обробка графів.

Основним поняттям в Spark'е є RDD (Resilient Distributed Dataset), який представляє собою Dataset, над яким можна робити різні перетворення. За великим рахунком початковий RDD вдає із себе набір «сирих» які потім за допомогою функціоналу Spark перетворюються до потрібного вигляду.

Результатом застосування різних операцій до початкового RDD є новий Dataset. Серед основних операцій можна виділити:

.map (function) - застосовує функцію function до кожного елементу датасета

.filter (function) - повертає всі елементи датасета, на яких функція function повернула справжнє значення

.distinct ([numTasks]) - повертає датасета, який містить унікальні елементи ис-перехідного датасета

Також варто відзначити про операції над множинами, зміст яких зрозумілий з назв:

.union (otherDataset)

.intersection (otherDataset)

.cartesian (otherDataset) - новий датасет містить в собі всілякі пари (A, B), де перший елемент належить вихідного датасета, а другий - датасета-аргументу

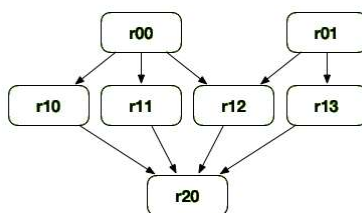


Рисунок 2 – Приклад формування нових датасетів  
Figure 2 - Example of new datasets forming

### Бібліотека scikit-learn

На даний момент існує ряд мов програмування, за допомогою яких можна розроблювати додатки для машинного навчання та аналізу даних.

Завдяки широкому поширенню Python зібрав навколо себе активна спільнота розробників, які в рамках різних проєктів розробляють модулі для вузькоспеціалізованих завдань [7].

Одна з основних причин, чому Python використовується для машинного навчання полягає в тому, що у нього є безліч фреймворків, які спрощують процес написання коду і скорочують час на розробку. Обговорімо, які саме бібліотеки і фреймворки Python використовуються в машинному навчанні. У наукових розрахунках використовується NumPy, SciPy, в добуванні і аналізі даних - SciKit-Learn. Ці бібліотеки часто використовують разом з TensorFlow, CNTK і Apache Spark за допомогою яких проєктуються нейронні мережі. Крім того простий синтаксис мови Python допомагає розробнику тестувати складні алгоритми з мінімальною витратою часу на їх реалізацію.

Одним з таких проєктів стала бібліотека scikit-learn.

Бібліотека scikit-learn надає реалізацію ряду алгоритмів як для навчання з учителем (Supervised learning), так і для навчання без (Unsupervised learning).

Scikit-learn побудована на основі стека SciPy (Scientific Python), який включає в себе:

- NumPy додає підтримку великих багатовимірних масивів і матриць, а також бібліотеку високорівневих математичних функцій для операцій з ними.

- SciPy - відкрита бібліотека високоякісних наукових інструментів для мови програмування Python.

- Matplotlib - бібліотека для візуалізації двовимірної і тривимірної графіки.

- IPython - інтерактивна оболонка для мови програмування Python, яка надає розширення інтерпретатора, додатковий командний синтаксис, підсвічування коду і автоматичне доповнення SymPy - бібліотека для роботи з символьними обчисленнями

- Pandas реалізує різні структури даних і аналіз.

Бібліотека scikit-learn складається з 35 модулів. Кожен модуль складається з класів і функцій і вирішує такі завдання, як:

- кластеризація (Clustering) - угруповання нерозмічених даних.

- перехресна перевірка (Cross Validation) - оцінка ефективності роботи моделі на незалежних даних.

- набори даних (Datasets) - для зберігання тестових наборів даних і для генерації наборів даних з певними властивостями для дослідження поведінкових властивостей моделі.

- скорочення розмірності (Dimensionality Reduction) - набір алгоритмів для зменшення кількості атрибутів для візуалізації та відбору ознак (Feature Selection), наприклад, метод головних компонент (Principal Component Analysis).

- алгоритмічні композиції (Ensemble Methods) - набір методів для комбінування прогнозів декількох моделей.

- витяг ознак (Feature Extraction) - процес визначення атрибутів в даних.

- відбір ознак (Feature Selection) - набір алгоритмів для виявлення значущих атрибутів на основі яких буде побудована модель.

- оптимізація параметрів алгоритму (Parameter Tuning) - методи для отримання максимальної ефективності віддачі від моделі.

- множинне навчання (Manifold Learning) - підхід нелінійного скорочення розмірності даних.

Окремо слід виділити методи реалізують навчання з учителем (Supervised Models). Даний набір методів включає в себе:

- узагальнені лінійні моделі (Generalized Linear Models);

- методи дискримінантного аналізу (Discriminate Analysis);

- наївний байесовський класифікатор (Naive Bayes);

- нейронні мережі (Neural Networks);

- метод опорних векторів (Support Vector Machines);

- дерева прийняття рішень (Decision Trees).

### Висновок

Розглянуто підхід щодо створення систем машинного навчання та аналізу даних. Так як дані часто представлені в неструктурованому "сиром" вигляді необхідно використовувати спеціальні інструменти для їх структурування. Це завдання можна вирішити застосовуючи фреймворки Spark. Також даний фреймворк можливо застосовувати на етапах первинного аналізу даних, початкових припущеннях про способи аналізу, отриманні початкової вихідної інформації, трансформування її в підсумкову вибірку, яка буде подана на вхід моделям аналізу. Також за допомогою фреймворку Spark проводяться відбір ознак і рішення проблем неякісних даних (відновлення пропусків і позбавлення від викидів в даних). Для більш детального аналізу краще використовувати бібліотеку scikit-learn. Використання цієї бібліотеки дасть можливість побудови моделей аналізу, настройки їх параметрів для досягнення мети, та оцінці результатів.

### Література

1. Weka: Data Mining URL: <https://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/> (дата звернення: 23.11.2020).
2. Big Data URL: <https://www.it.ua.ru/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye> (дата звернення: 23.11.2020).
3. А. А. Барсегян, Методы и модели анализа данных / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов – С.-Петербург: БХВ Петербург – 2004 г. – 134 с.

4. Shearer C. The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. – *JData Warehousing*. – 2000. – С.22.
5. Documentation Python.org. URL: . -<https://www.python.org/>
6. Spark Application Overview URL: [https://docs.cloudera.com/documentation/enterprise/5-6-x/topics/cdh\\_ig\\_spark\\_apps.html](https://docs.cloudera.com/documentation/enterprise/5-6-x/topics/cdh_ig_spark_apps.html) (дата звернення: 12.11.2020).
7. Scikit-learn. Machine Learning in Python. URL: . <http://scikit-learn.org> (дата звернення: 12.11.2020).

## ANALYSIS OF MACHINE LEARNING TOOLS FOR ANALYSIS OF LARGE DATA SETS

**Pronin Sergey Viktorovich**, Cand. Eng. Sci. (Ph.D), Associate Professor of Computer Technology and Mechatronics Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv National Automobile and Road University, [psv59777@gmail.com](mailto:psv59777@gmail.com), [sergiy9977@ukr.net](mailto:sergiy9977@ukr.net), тел.: 050-181-22-74, 057-707-37-43.61002, Ukraine, Kharkiv, st. Yaroslav the Wise, 25

**Usychenko O.**, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Transportation Construction and Property Management, National Transport University, [fbbk@ukr.net](mailto:fbbk@ukr.net), тел. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

**Abstract.** One of the possible ideas of applying the big data paradigm is considered - the possibility of creating programs for the analysis of various information. A successful solution to this problem can be used, in particular, in the field of e-commerce - knowing which product is best for the buyer, helps to better organize the contextual offers of goods, which, in turn, leads to increased efficiency of the business as a whole. Problem. Due to the rapid growth of information, there is an urgent need to process and structure this information for further use in teaching a model that will yield results. The goal of this work will be a review of modern tools for creating systems for analyzing large data sets. The methodology of selection of tools for creation of data analysis systems is used. As a result, tools were identified to create the ultimate applications in the field of data analysis. The originality of the work lies in the use of specialized machine learning libraries to create data analysis systems. The practical value of the work lies in the possibility of creating data analysis systems built using specialized machine learning libraries

**Keywords:** Machine learning, data analysis, scikit-learn library

## References

1. Weka: Data Mining Retrived from. URL:: <https://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/> (accessed: 23.11.2020).
2. Big Data Retrived from. URL:: <https://www.it.ua.ru/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye> (accessed: 23.11.2020).
3. A. A. Barsegyan, *Metody` i modeli analiza danny`kh [Data Analysis Methods and Models]*. *S.-Peterburg: BKhV Peterburg* – 2004 g. – 134 s.
4. Shearer C. The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. – *JData Warehousing*. – 2000 g. – С.22.
5. Documentation Python.org Retrived from. URL:: <https://www.python.org/> (accessed: 23.11.2020)
6. Spark Application Overview Retrived from. URL:: [https://docs.cloudera.com/documentation/enterprise/5-6-x/topics/cdh\\_ig\\_spark\\_apps.html](https://docs.cloudera.com/documentation/enterprise/5-6-x/topics/cdh_ig_spark_apps.html)
7. Scikit-learn. Machine Learning in Python. Retrived from. URL: <http://scikit-learn.org> (accessed: 23.11.2020)

## INCREASING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF ASPHALT CONCRETE COATING FOR THE USE OF MODIFICATION ADDITION BUTONAL NS 198

### ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАЦІЙНОЇ ДОБАВКИ БУТОНАЛ NS 198



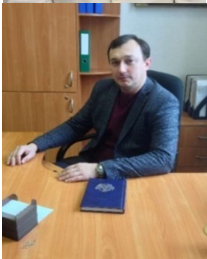
**Slavinska Olena Serhiyivna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the department of Transport construction and property management, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +380509698109

<http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>



**Onyshchenko Artur Mykolayovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the department of Bridges and tunnels, e-mail: artur\_onish@bigmir.net, tel.: +380687771899

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



**Bubela Andrii Volodymyrovych**, PhD, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594

<http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

**Summary.** It is known that the use of conventional road construction solutions to improve the quality of asphalt mixes by improving the selection and composition of mixtures, the preparation process does not completely eliminate the problem of the strength of asphalt pavements and increase durability. Recent research results show that thermoplastic and thermoelastoplastic polymers as modifiers of bitumen and asphalt mix are one of the most promising ways of increasing the strength of asphalt concrete. One of these modifiers is the cationic latex BASF Butanol NS 198, which, according to research by American scientists, improves the heat resistance, elasticity and adhesion properties of bitumen.

**Key words:** bitumen, asphalt concrete, asphalt concrete testing, modifier.

**Introduction.** Taking into account that the climatic conditions and the paving bitumen used in Ukraine are different from those in the western countries and in the USA, it emerged necessity to study influence of these modifying agents to enhance the asphalt concrete layers service life taking into consideration the conditions in Ukraine and the domestic road building materials properties [1-10].

Possibility to apply the Butanol NS 198 modifying agent in Ukraine is studied since 2002. The DerzhdorNDI and KhNADU research teams investigated the influence of this modifier on the paving bitumen and asphalt concrete properties [2, 8]. The laboratory test results have confirmed the possibility of the paving bitumen properties improvement using the Butanol NS 198 modifier. Such bituminous polymers demonstrate the certain dependence of a binding agent strengthening and the increasing elasticity appearance upon the polymer amount increase. Sensitivity to a temperature lowering decreases. These facts create the preconditions for asphalt concrete strength and resistance increase as well as its shift resistance and crack growth resistance in the road covering.

However the influence of this modifying agent on the asphalt concrete properties and especially on its behavior in the road structure was studied insufficiently. Therefore, the following questions are considered in given work:

- designing the optimal compositions of asphalt concrete with bitumen modified with the Butanol NS 198 cationic latex;
- determining the designed thermo-rheological characteristics of asphalt concrete with the modified bitumen;
- analysis of the Butanol NS 198 modifier influence on the pavement on the base of the asphalt covering crack growth resistance dependence on the transport traffic intensity.

**Materials and Methods.** For research conduction to prepare the modified bitumen and the polymer asphalt concrete there were used the stone materials from the Malynsky enterprise and the mineral powdered lime, the petroleum paving bitumen of 60/90 grade from the Mozyrsky enterprise, and the Butanol NS 198 modifier. The components quantity determination results showed their compliance with the asphalt concrete functional standard [11]. To obtain the uniform asphalt concrete samples and to ensure the same specific surface of the mineral components the stone material previously was dispersed on the standard fractions. While selecting the asphalt concrete composition the standard requirements to its physic-mechanical characteristics were observed.

During research there was used the most widely applied for the covering arrangement АБ.Др.ІІІ.Б.НІІ.І ДСТУ Б В.2.7-119 asphalt concrete of such grain composition: macadam of 5-10 fraction – 40 %; crashed sand – 52 %; mineral powder – 8%. For comparison the road concrete mixes were prepared using the petroleum paving bitumen 60/90 with the latex addition into mixture during its mixing. At preparation of the bitumen modified with polymer there have being checked both the binding agent properties and its producing processibility. It allowed determining the inadmissible process modes of the modified bitumen preparation and the optimal and rational conditions of its preparation and use.

#### Asphalt concrete samples preparation procedure

To prepare the asphalt concrete samples there was used standard and special equipment of the "Transport construction materials and designs" prof. G.K. Sunya laboratory under the road building materials and chemistry chair of the National transport university. The beam samples were prepared on the sector press (Fig. 1) of Radovsky-Scherbakov design [12] that creates the asphalt concrete consolidation conditions with the light, middle and heavy rolls.

Sector press consists of the bed 1 along which the cart with the installed on it mould 3 moves. The cart is driven by the electric motor 4; the mixture consolidation in the mould is performed by sector.

On the sector press it was used the optimal process of the selected compositions consolidation to obtain the minimum consolidation factor 0.98.

#### Asphalt concrete testing procedure

The asphalt concrete physical-mechanical and designed characteristics were determined according to functional regulations [12, 14, 15].

To determine the tensile strength limits at bending the samples were tested for bend with concentrated force according to statically established scheme as the beam on two supports. The tests were carried out on the МІІІ-500 machine at temperature of 0 °C and deformation rate 100 mm/min. Before testing the samples were subjected to thermostating during 8-10 hours in the heat chamber. Then the samples were transferred in heat insulation to the testing machine supports. While testing the maximum destructive load P was recorded and the tensile strength limits at bending were determined by means of formula

$$R_{\text{згн}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{bh^2}, \quad (1)$$

where P is the maximum destructive load at bending; l- is distance between the supports; b is the sample width; h is the sample height.

The asphalt concrete samples modulus of elasticity was determined at temperature of 0 °C and the load action duration of 0.1 s employing the pendulum device of Radovsky-Scherbakov design (fig. 2).

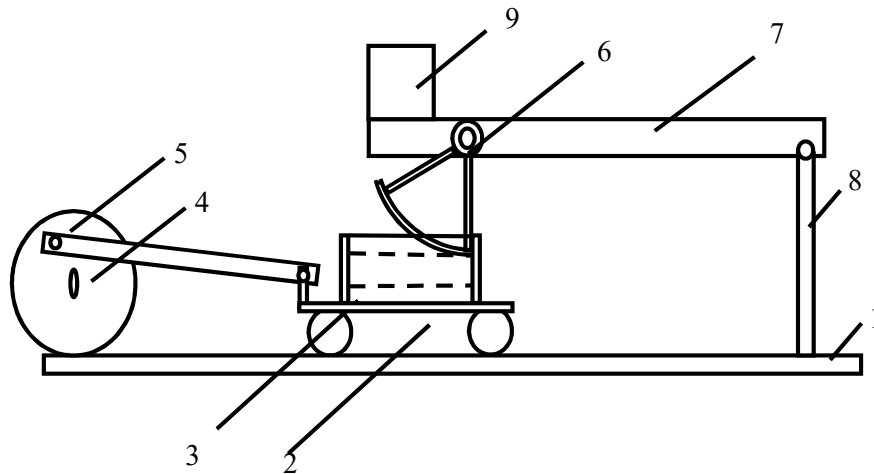


Figure 1 – Sector press of Radovsky-Scherbakov design to produce the asphalt concrete beam samples: 1 – bed; 2 – cart; 3 – mould; 4 – electric motor with reduction gear and flywheel; 5 – connecting-rod and crank gear; 6 – sector; 7 – lever; 8 – stand; 9 – weight

Рисунок 1 – Секторний прес Радовського-Щербаківа розроблено для виготовлення зразків асфальтобетонних балок: 1 - основа; 2 - візок; 3 - форма; 4 - електродвигун з редуктором і маховиком; 5 - шатун і кривошип; 6 - сектор; 7 - важіль; 8 - підставка; 9 - вантаж

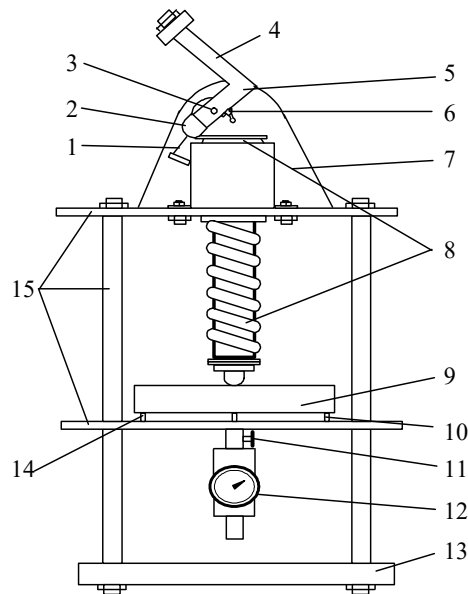


Figure 2 – Pendulum device

1 – load transmission gear, 2 – adjustment nut, 3 – axle, 4 – pendulum in the lever form, 5 – threaded roller, 6 – nut, 7 – bracket, loading mechanism, 9 – beam sample, 10 – mobile support, 11 – indicator, 12 – deal indicator, 13 – bed, 14 – immobile support, 15 – frame made of the steel bars

Рисунок 2 – Маятниковий пристрій

1 - важіль передачі навантаження, 2 - гайка регулювання, 3 - вісь, 4 - маятник у важільній формі, 5 - різьбовий ролик, 6 - гайка, 7 – кронштейн навантажувального механізму, 9 - зразок балки, 10 - рухома опора, 11 - індикатор, 12 - індикатор годинникового типу, 13 - основа, 14 - нерухома опора, 15 - рама зі сталевих брусків

Before testing the samples were subjected to the previous thermostating at the operating temperature. Prepared for testing sample was placed on the supports and loaded with the help of the loading system which ensures the specified loading level in the sample at designed time of its action of 0.1 s. During this procedure the rebound deflection was measured. The modulus of elasticity was calculated with the help of formula

$$E = P / (f / J), \quad (2)$$

where P is the vertical loading; f is the rebound deflection; J is the sample cross-section inertia moment.

To determine the fatigue factor it was used the procedure based on the different stress levels applying with measurement of time till destruction. There were tested the samples for determination of the continuous creep under the uniaxial tension conditions at temperature of 0 °C according to procedure [16] and using the installation shown in fig. 3.

During testing it was recorded time till destruction at different stress levels and the fatigue parameters were determined using the following formula:

$$m = \lg \frac{t_p(\sigma_1)}{t_p(\sigma_2)} \cdot \left( \lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^{-1}, \quad (3)$$

where  $\sigma_1, \sigma_2$  are the stresses in the sample,  $t_p(\sigma_1), t_p(\sigma_2)$  is the time till the sample destruction.

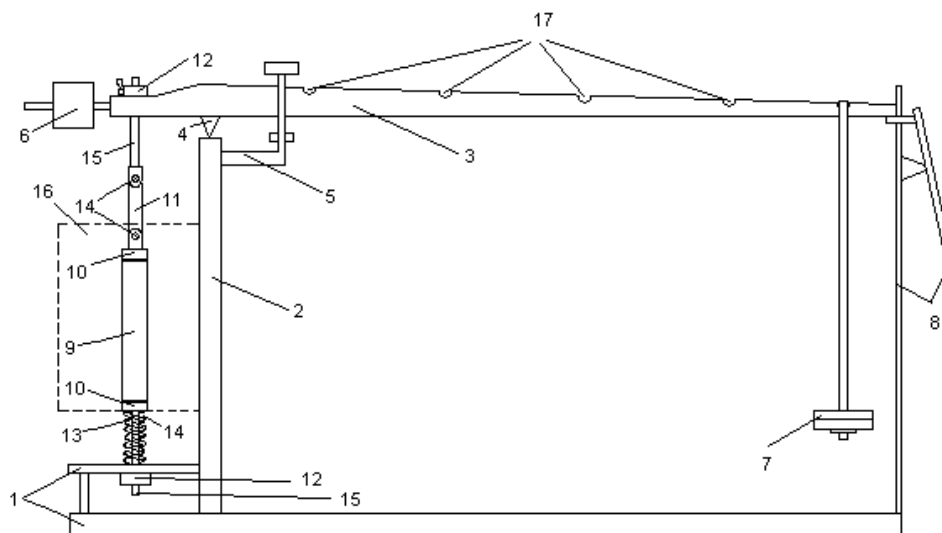


Figure 3 – Diagram of installation A-1 to test the samples durability: 1 - base; 2 - stand; 3 – balancing lever; 4 - prism; -5 - restrictor; 6 - balance weight; 7 – suspension with the balance weights; 8 – loading device; 9 - sample; 10 - gripping devices; 11 – cross-over link; 12 - nuts; 13 - spring; 14 - pivot; 15 – tension bolts; 16 - heat-chamber; 17 – sockets for suspension  
 Рисунок 3 – Схема установки А-1 для перевірки міцності зразків: 1 - основа; 2 - підставка; 3 - балансуєчий важіль; 4 - призма; -5 - обмежувач; 6 - балансовий вантаж; 7 - підвіска з рівновагою; 8 - завантажувальний пристрій; 9 - зразок; 10 - захватні пристрої; 11 - перехресна ланка; 12 - гайки; 13 - пружина; 14 - шарнір; 15 - натяжні болти; 16 - терморкамера; 17 - пази для підвіски

**Results and Discussion.** Research results of the Butanol NS 198 polymer influence on the studied bitumen properties have shown that the modifying agent amount equals about 2-4 % of the bitumen mass. Such amount of the polymer ensures the highest physical-mechanical properties of asphalt concrete. In case of the modifier direct introducing into prepared road concrete mix its rational amount was equal to 3-4 % of the bitumen mass. To provide correct equalization of the asphalt concrete researched compositions physical-mechanical properties in this work there are shown the results of the modifier use in amount of 4 % of the bitumen mass.

The results of the asphalt concrete physical-mechanical properties determination depending on the binding agent amount are the following.

In case of the binding agent from 5.4 % to 6 % relative to 100 % of the mineral part the average density values virtually did not change, and the water saturation factor uniformly decreased at the bitumen amount increase (fig. 4-5) both for polymer asphalt concrete (PAC) and for the conventional asphalt concrete.

The water saturation factor decrease by 1.5-2 times in the polymer asphalt concrete (PAC) demonstrates improvement of its water resistance as compared with conventional asphalt concrete, and additionally it is possible to say about the improvement of asphalt concrete general longevity in covering at the water-freeze factors influence. At that the water saturation factor decrease rate is virtually the same both for conventional asphalt concrete and for PAC.

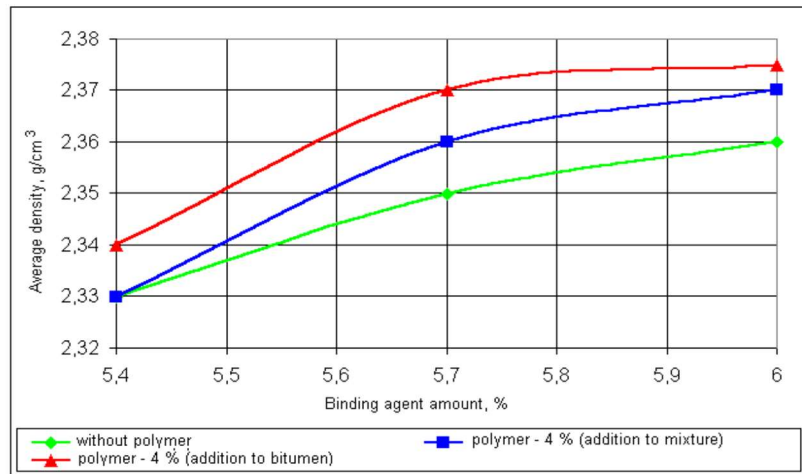


Figure 4 – Dependence of the asphalt concrete average density upon the binding agent amount

Рисунок 4 – Залежність середньої щільності асфальтобетону від кількості в'язучого

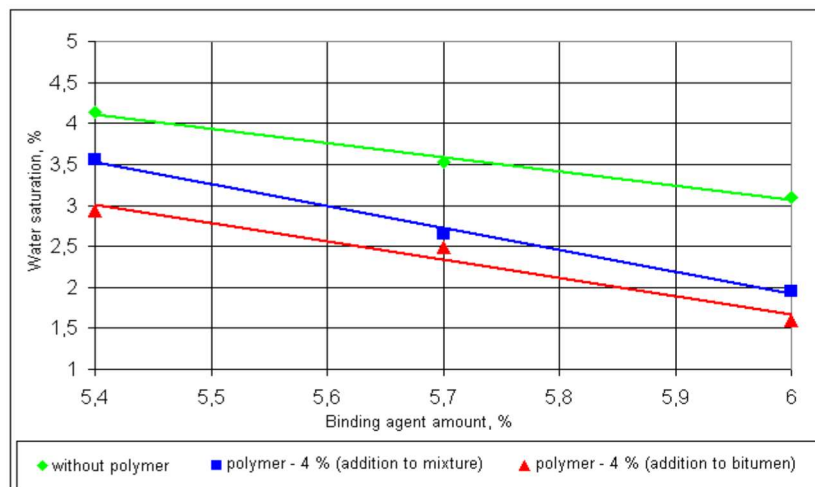


Figure 5 – Dependence of the asphalt concrete water saturation upon the binding agent amount

Figure 5 – Залежність водонасичення асфальтобетону від кількості в'язучого

The strength factors determination results are shown in fig. 6-9 and indicate the polymer asphalt concrete advantages in comparison with the conventional asphalt concrete both at the rational amount of the binding agent and at other amounts.

For example, the main parameters of the physical-mechanical properties PAC R50 – by 1.5-1.9 times greater than for conventional asphalt concrete (Fig. 6), R20 – by 1.2-1.7 times (Fig. 7), the wayer resistance factor is greater by 5-10 % (Fig. 8), the continuous water resistance factor is greater by 10-20 % (Fig. 9).

The standard physical-mechanical parameters study results confirmed the results of other scientists concerning the positive influence of this modifying agent on the PAC properties improvement. However, it is necessary to note that these parameters may be used mainly for estimation of the asphalt concrete properties as material.

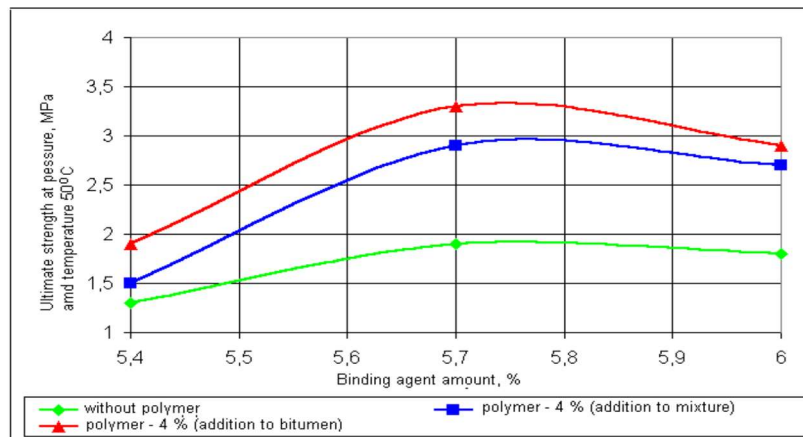


Figure 6 – Dependence of the asphalt concrete ultimate strength at temperature of 50 °C during pressure upon the binding agent amount

Рисунок 6 – Залежність границі міцності асфальтобетону від температури 50 °C під тиском від кількості в'язучого

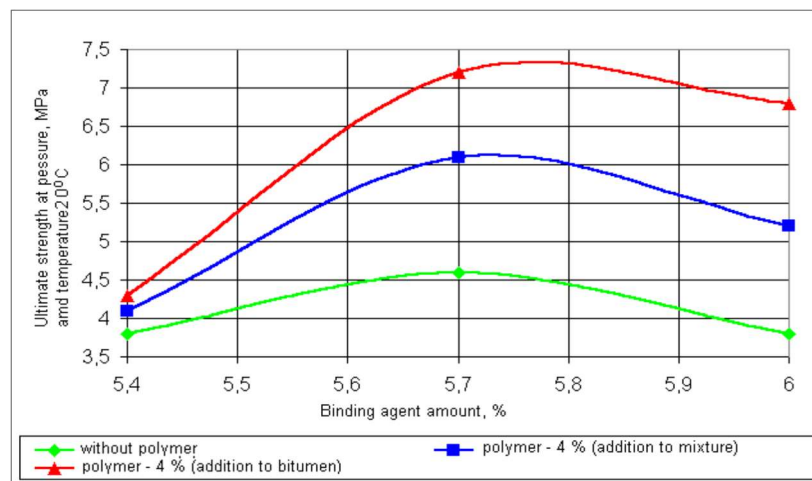


Figure 7 – Dependence of the asphalt concrete ultimate strength at temperature of 20 °C during pressure upon the binding agent amount

Рисунок 7 – Залежність границі міцності асфальтобетону при температурі 20 °C під тиском від кількості в'язучого

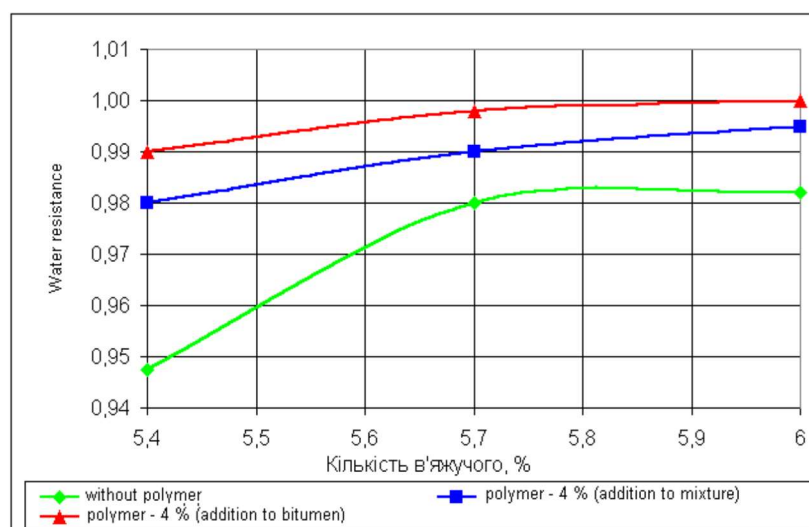


Figure 8 – Dependence of the water resistance upon the binding agent amount

Рисунок 8 – Залежність водостійкості від кількості в'язучого

To provide the complete estimation of any modifiers, including the Butanol NS 198, influence on the asphalt concrete durability in paving it is necessary and sufficiently to determine its design characteristics with further execution of corresponding calculations. They itself allow estimating deflected mode of the paving structure and determining number of parameters which allow determining expediency of its use from point of view of ensuring and improving the paving durability. To such parameters there can be referred, for example, number of the vehicles passages till destruction, the paving thickness decrease while ensuring the sane durability, decrease of the repairs frequency, etc.

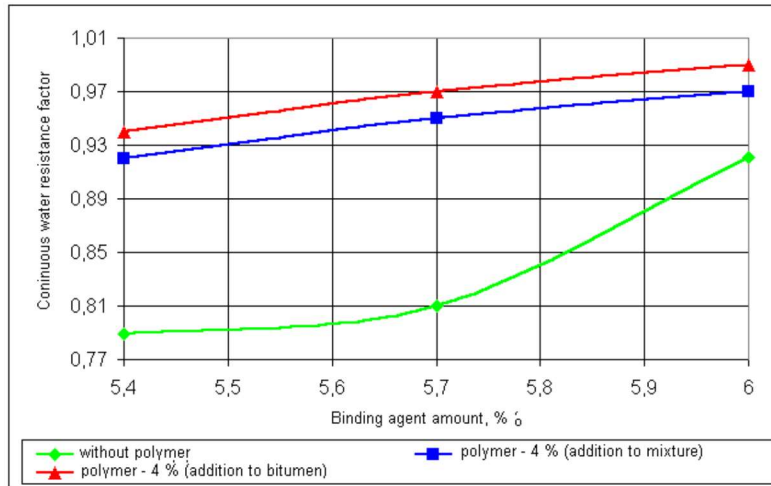


Figure 9 – Dependence of continuous water resistance factor upon the binding agent amount

Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта водостійкості від кількості в'яжучого

Results of the asphalt concrete tensile strength at bending determination are shown in table 1. They indicate the PAC tensile strength increase as compared to conventional asphalt concrete and show the bitumen polymer advantages against the paving bitumen (approximately by 1.2 times). The durability function parameters in table 1 also confirmed the considerable benefit of polymer asphalt concrete (approximately by 1.3 times), and this characteristic shows that the PAC use significantly increases the asphalt covering both durability and strength, and additionally it is possible to predict that it will increase the resistance to action of destructive factors such as transport and temperature loadings. The design modulus of elasticity determination results (table 1) showed that this parameter is virtually the same for studied materials, i.e. at low temperatures it has the sufficient deformability and resistance to the temperature cracks appearance.

Table 1 – Results of the asphalt concrete design characteristics determination

Таблиця 1 – Результати визначення проектних характеристик асфальтобетону

| Asphalt concrete type | Tension strength at bending, $R_{\text{bend}}$ , MPa | Durability function parameter, $\tau$ | Modulus of elasticity, $E$ , MPa |
|-----------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Asphalt concrete      | 9,9                                                  | 5,2                                   | 6780                             |
| PAC                   | 12,1                                                 | 6,7                                   | 6650                             |

On basis of determined design characteristics to evaluate the durability there were carried out the comparing calculations of paving two constructions according to existing procedure (Fig. 10).

In the first structure it was used asphalt concrete on bitumen base В першій конструкції використовували асфальтобетон на основі бітуму в другій асфальтобетон на основі бітумополімеру.

The asphalt concrete and PAC design characteristics were determined in experimental way according to specifics procedures. The asphalt concrete and PAC compositions were the same as during the previous research.

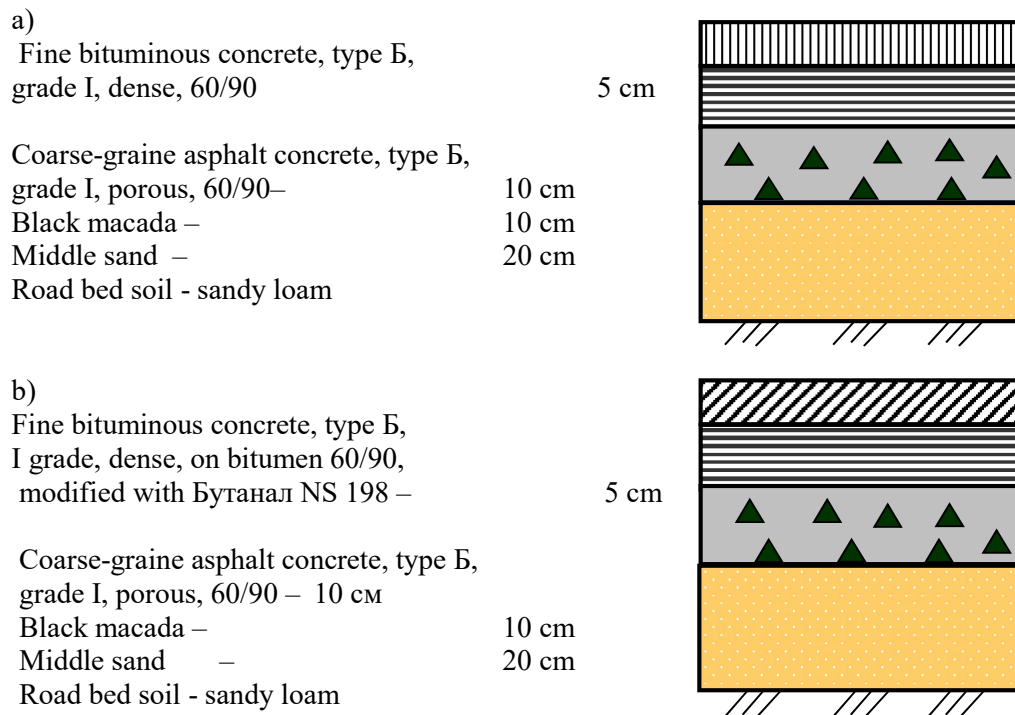


Figure 10 – Paving structure : a) using asphalt concrete; b) using PAC

Рисунок 10 – Конструкція дорожнього одягу: а) з використанням асфальтобетону; б) за допомогою PAC

The calculation results analysis confirmed the previous investigations with respect to asphalt concrete covering durability extension. In this case at loading of 60 kN the paving durability at PAC application by 3.6 times greater than at the conventional asphalt concrete application, at loading of 100 kN - by 3.3 times, and at loading of 15 kN - by 3.0 times (fig. 11).

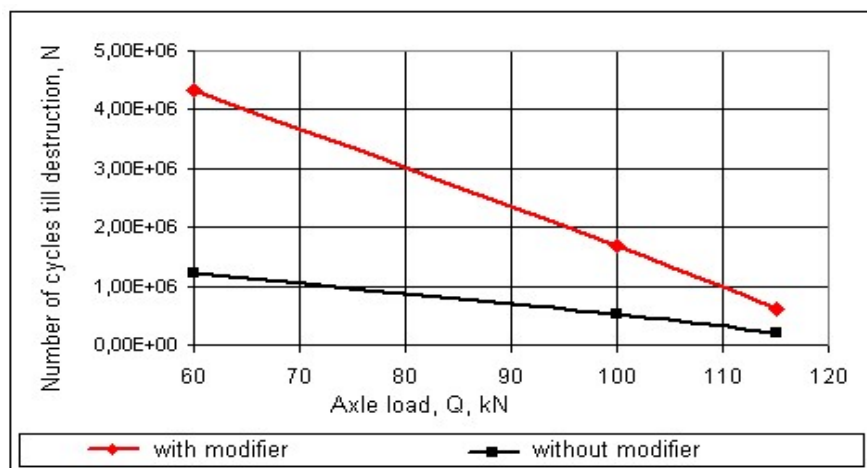


Figure 11 – Dependence of asphalt concrete durability upon the axle load

Рисунок 11 – Залежність міцності асфальтобетону від навантаження на вісь

**Conclusions and Recommendations.** 1. Conducted research showed that the asphalt concretes produced using the Butanal NS 198 meet the requirements to hot asphalt concrete and have higher strength and durability parameters.

2. The polymer asphalt concrete design characteristics values change in sufficiently wide range depending on the binding agent amount shows the possibility of active regulation of its properties under the designing actual conditions.

3. Higher water resistance and extended durability of these PACs ensure the preconditions of their use in different regions of Ukraine.

4. Research results show that to get the maximum effect from the modifying agent application it is desirable to perform the scientist support during its field use and also the operational conditions monitoring to collect statistic data and carry out the necessary corrections to obtain the best results.

### References

1. Hnatenko H.F., Fesenko V.I., Halkin A.V., Zhdanyuk V.K., Zalotar'ov V.O. Dosvid pryhotuvannya polimerbitumnoho v"yazhuchoho u bez kompresorniy ustanovtsi // Avtoshlyakhovyk Ukrayiny. № 1. – 2001. – 2001. – S.39-42.
2. Honcharenko F.P. Rezul'taty naukovykh doslidzhen' DerzhdorNDI ta analiz praktychnoho dosvidu zabezpechennya yakosti asfal'tobetonu ta asfal'tobetonnykh pokryttiv // Vestnyk KHNADU. KH.: – 2002 – S.101-104.
3. Hokhman L.M., Huraryy E.M., Davydova A.R., Davydova K.Y. Polymerno – bytumnye vyazhushchye na osnove SBS dlya dorozhnoho stroytel'stva // M.: Ynformavtodor. – Vypusk. 4. – 2002. – 122 s.
4. Zhdanyuk V.K., Lohvynenko P.M., Boykov V.V. i in. Vykorystannya modyfikatora dorozhnykh bitumiv «Mobit » pry budivnytstvi asfal'tobetonnykh pokryttiv // Avtoshlyakhovyk Ukrayiny. - № 3. – 2003. – S.29-31.
5. Zolotarev V.A. Svoystva bytumov, modyfityrovannykh polymeramy typu SBS // Avtoshlyakhovyk Ukrayiny. - № 3. -2003. – S. 29-31.
6. Kynh H.N., Radovsky B.S. Svoystva polymerno – bytumnykh vyazhushchykh y razrabatyvaemye v SSA metody ykh yspytannya. // Novosti v dorozhnom dele. Nauchno – tekhnicheskyy ynformatsyonnyy sbornyk. – 2004, vypusk 6. – Moskva. S. 1-28.
7. Kynh H.N., Radovsky B.S. Materyaly y tekhnolohyy kompanyy Koch Materials dlya stroytel'stva y remonta dorozhnykh pokrytyy // Novosti v dorozhnom dele. Nauchno – tekhnicheskyy ynformatsyonnyy sbornyk. – 2004, vypusk 6. – Moskva. S. 28-62.
8. Zolotar'ov V.O., Halkin S.H., Kyshchyn'sky S.V. Pro stabil'nist' pry zberezheni bitumiv, modyfikovanykh polymeramy // Visnyk Donbas'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva i arkhitektury. Kompozitsiyni materialy dlya budivnytstva. – 2004-1(43) tom1. – Makiyivka. S. 16-23.
9. Pakter M.K., Samoylova E.YE., Bratchun V.I., Bepalov V.L., Hulyak D.V. Doslidzhennya pochatkovykh stadiy oderzhannya bitumopolimernoho v"yazhuchoho i asfal'tobetonu metodom dyferentsiynoyi skanuyuchoyi kalorymetriyi // Visnyk Donbas'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva i arkhitektury. Kompozitsiyni materialy dlya budivnytstva. – 2004-1(43) tom1. – Makiyivka. S.42-47.
10. Zolotarev V.A. Ob ynformatyvnyosti pokazateley kachestva bytumov // Nauka y tekhnika v dorozhnoy otrasly. - № 3. -2005. – S. 38-42.
11. Modyfityrovannye bytumnye vyazhushchye, spetsyal'nye bytyny y bytyny s dobavkamy v dorozhnom stroytel'stve. Pod obshch. Red. V.A. Zolotareva, V.Y. Bratchuna. – Khar'kov: Yzdatel'stvo KHNADU, 2003. – 229 s.
12. DSTU B.V.2.7-119-2003 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy i aerodromnyy. Tekhnichni umovy.
13. Shcherbakov Y. M. Yssledovanye y uchet strukturno-mekhanicheskyykh kharakterystyk asfal'tobetona pry naznachenyy konstruksyy dorozhnykh odezhd. Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk. – M, 1979, 24 s.
14. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan'
15. VBN V.2.3-218-186-2004 Dorozhniy odyah nezhorstkoho typu.
16. Mozhovoy V.V. Nauchnye osnovy obespechenyya temperaturnoy treshchynostoykosty asfal'tobetonnykh pokrytyy: Dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.22.11 - K., 1996 – 406 s.

### ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКАЦІЙНОЇ ДОБАВКИ БУТОНАЛ NS 198

**Славінська Олена Сергіївна**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, тел.: +380509698109, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича – Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>.

**Онищенко Артур Миколайович**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мости і тунелі, e-mail: artur\_onish@bigmir.net, тел.: +380687771899, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича – Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>.

**Бубела Андрій Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича – Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

**Анотація.** Відомо, що використання звичайних рішень у дорожньому будівництві для покращення якості асфальтобетонних сумішей завдяки, покращенням підбору та складу сумішей, процесу підготовки не усуває в повній мірі проблему міцності асфальтобетонних покриттів та збільшення довговічності. Для визначення меж міцності на розрив при згинанні зразки випробовували на вигин з концентрованою силою за статично встановленою схемою у вигляді пучка на двох опорах. Результати останніх досліджень показують, що одним з найперспективніших способів збільшення міцності асфальтобетону є термопластичні та термоеластопластичні полімери, як модифікатори бітуму та асфальтобетонної суміші. Такі бітумні полімери демонструють певну залежність зміцнення зв'язуючого агента та зростаючу появу еластичності від збільшення кількості полімеру. Чутливість до зниження температури знижується. Ці факти створюють передумови для збільшення міцності та стійкості асфальтобетону, а також його опору зсуву та стійкості до росту тріщин у дорожньому покритті. Одним з таких модифікаторів є катіонний латекс BASF Butanol NS 198, який, за результатами досліджень американських учених, покращує теплостійкість, еластичність та адгезійні властивості бітуму.

**Ключові слова:** бітум, асфальтобетон, випробування асфальтобетону, модифікатор.

#### Перелік посилань

1. Гнатенко Г.Ф., Фесенко В.І., Галкін А.В., Жданюк В.К., Залотарьов В.О. Досвід приготування полімербітумного в'язучого у без компресорній установці // Автошляховик України. № 1. – 2001. – 2001. – С.39-42.
2. Гончаренко Ф.П. Результати наукових досліджень ДерждорНДІ та аналіз практичного досвіду забезпечення якості асфальтобетону та асфальтобетонних покриттів // Вестник ХНАДУ. Х.: – 2002 – С.101-104.
3. Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Давыдова К.И. Полимерно – битумные вяжущие на основе СБС для дорожного строительства // М.: Информавтодор. – Выпуск. 4. – 2002. – 122 с.
4. Жданюк В.К., Логвиненко П.М., Бойков В.В. і ін. Використання модифікатора дорожніх бітумів «Мобіт» при будівництві асфальтобетонних покриттів // Автошляховик України. - № 3. – 2003. – С.29-31.
5. Золотарев В.А. Свойства битумов, модифицированных полимерами типа СБС // Автошляховик України. - № 3. -2003. – С. 29-31.
6. Кинг Г.Н., Радовский Б.С. Свойства полимерно – битумных вяжущих и разрабатываемые в США методы их испытания. // Новости в дорожном деле. Научно – технический информационный сборник. – 2004, выпуск 6. – Москва. С. 1-28.
7. Кинг Г.Н., Радовский Б.С. Материалы и технологии компании Koch Materials для строительства и ремонта дорожных покрытий // Новости в дорожном деле. Научно – технический информационный сборник. – 2004, выпуск 6. – Москва. С. 28-62.
8. Золотарьов В.О., Галкін С.Г., Кищинський С.В. Про стабільність при збереженні бітумів, модифікованих полімерами // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Композиційні матеріали для будівництва. – 2004-1(43) том1. – Макіївка. С. 16-23.
9. Пактер М.К., Самойлова Е.Є., Братчун В.І., Беспалов В.Л., Гуляк Д.В. Дослідження початкових стадій одержання бітумополімерного в'язучого і асфальтобетону методом диференційної скануючої калориметрії // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Композиційні метериали для будівництва. – 2004-1(43) том1. – Макіївка. С.42-47.
10. Золотарев В.А. Об информативности показателей качества битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. - № 3. -2005. – С. 38-42.
11. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. Под общ. Ред. В.А. Золотарева, В.И. Братчуна. – Харьков: Издательство ХНАДУ, 2003. – 229 с.
12. ДСТУ Б.В.2.7-119-2003 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній і аеродромний. Технічні умови.
13. Щербаков И. М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд. Автореф. дис... канд. техн. наук. – М, 1979, 24 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань.
15. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу.
16. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 - К., 1996 – 406 с.

## ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ НЕЗВ'ЯЗНИХ ШАРІВ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЩО СТАБІЛІЗОВАНІ ГЕОГРАТКОЮ

### SUBSTANTIATION OF THE ROAD CONSTRUCTION UNBOUND MATERIALS CALCULATION MODEL WITH GEOGRIDS STABILIZATION



**Смірнова Наталія Володимирівна**, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, e-mail: [NataliaVS.0105@gmail.com](mailto:NataliaVS.0105@gmail.com), тел. +3805727073780, +3809775099793. 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, к. 255.

[orcid.org/0000-0001-8458-1954](https://orcid.org/0000-0001-8458-1954)



**Харін Павло Леонідович**, ТОВ «Уніпром», завідуючий проектною групою, e-mail: [kxarin@ukr.net](mailto:kxarin@ukr.net), тел. +38 050 413 59 50, Україна, 03150, м. Київ, вул. Предславинська 37, оф 303.

<https://orcid.org/0000-0001-7858-0912>



**Усиченко Олена Юрійвна**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри будівництва та експлуатації доріг, Національний транспортний університет, e-mail: [fbbk@ukr.net](mailto:fbbk@ukr.net), тел. +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.

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



**Кушнірова Оксана Миколаївна**, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: [kushnirovao@gmail.com](mailto:kushnirovao@gmail.com), тел. +30506545522, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, каб. 218.

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

**Анотація:** В статті розглянуто особливості взаємодії незв'язного матеріалу з ґрунтовою основою при дії вертикального навантаження. Проаналізовано вертикальні та горизонтальні переміщення зерна сферичної (круглої) і кубовидної форми; вертикальні та горизонтальні переміщення зерна сферичної (круглої) і кубовидної форми; розрахунок прогину традиційної конструкції дорожнього одягу методом поширювального підсумовування. Досліджено вплив георатки, влаштованої в основі незв'язного шару конструкції дорожнього одягу, на його напружено-деформований стан.

**Ключові слова:** дорожня конструкція, геосинтетичні матеріали, вертикальні напруження, пружний прогин, навантаження, деформування, розрахункові моделі.

### Вступ

Геосинтетичні матеріали являють собою клас будівельних матеріалів, що розрізняються за структурою, технології виробництва, показниками властивостей, складу сировини. Їх об'єднує зручна форма поставки, можливість забезпечення високої якості геосинтетичних матеріалів в умовах заводського виготовлення, мінімальні трудовитрати місці проведення робіт.

Найбільш поширена група матеріалів зі складу геосинтетичних - геотекстильні, перш за все, неткані, а також ткани та інші трикотажні (в'язані), плетені ниткопрошивні, біотекстільні з несинтетичного сировини.

Вперше неткані матеріали з'явилися в 1930-х роках в Європі. Це були полотна з віскозних волокон, скріплені між собою хімічними сполуками.

Пізніше з'явилися інші способи їх отримання, розрізняються по виду сировини і за способом скріплення. Неткані полотна практично відразу стали популярними - різноманітні властивості дозволили застосовувати їх в самих різних областях від медицини до будівництва будівель.

Властивості нетканних геотекстильних матеріалів, що представляють собою хаотичне переплетення коротких або довгих волокон, залежать від способу з'єднання волокон. Неткані геотекстильні матеріали зміцнюються механічним, термічним або хімічним способами. Механічно зміцнені (голкопробивні) неткані матеріали відрізняються достатньою міцністю, високою деформативністю, захисними властивостями, водонепроникністю в площині полотна і напрямку, їй нормальному. Їх основні функції - дренажування і захист, в окремих випадках при виникненні великих деформацій - армування.

У самому широкому аспекті області застосування геосинтетичних матеріалів в дорожній галузі, охоплюючи як конструктивні, так і технологічні рішення, включають два напрямки: ґрунтові споруди та дорожні одяги [1,5,6]. З безлічі основоположних функцій геосинтетичних матеріалів для досліджень, що проводяться по розробці типових дорожніх конструкцій на слабких ґрунтах відзначимо, перш за все, армування.

У загальному вигляді армування - функція суцільних тканих геосинтетичних матеріалів, геосіток і геореграток, яка використовується для армування ґрунтових споруд та їх основ при будівництві, реконструкції, ремонті, а також для асфальтобетонних покриттів.

Окремий інтерес представляє собою функція стабілізації зернистих матеріалів геосинтетичними матеріалами, зокрема - георатками.

### Основна частина

#### Особливості взаємодії незв'язного матеріалу з ґрунтовою основою при дії вертикального навантаження

При розрахунку посилення геораткою багатошарових основ дорожніх одягів повинні прийматися передумови, що пояснюють процес деформування матеріалу, що складається з окремих твердих частинок. При деформації зернистого шару відбувається зміна кінематичного стану зерен цього шару як твердих тіл. Деформація зернистого шару, тобто зміна його форми і об'єму відбувається за рахунок двох видів деформацій - структурних і пружних [3]. Структурні деформації зернистого шару полягають в переміщеннях зерен або їх агрегатів як окремих твердих тіл. Такі переміщення обумовлюються змінністю шару як системи тіл, в якій при деформації відбувається перекомпонування частинок. Зерна прагнуть зайняти стійке положення рівноваги. Структурні деформації носять дискретний і незворотний характер. Від пластичних деформацій структурні відрізняються тим, що перші можуть відбуватися при постійному об'ємі, а другі - змінюються в об'ємі. Пружні деформації виникають за рахунок деформації безпосередньо зерен шару. Такі деформації нерозривні в межах об'єму, займаного зерном, і в загальному випадку можуть бути нелінійними. Частка структурних і пружних деформацій в загальній деформації шару може бути різною і залежить від ступеню ущільнення шару.

Для визначення прогину багатошарової основи передбачається, що при достатньому ущільненні, вище розміщений шар є нестисливим, це значить, що переміщення на поверхні шару дорівнює переміщенню на підшві шару. Таким чином, прогин буде дорівнювати величині проникнення зерен розглянутого шару в нижче розташований шар.

Розглянемо двошарову схему, верхній шар якої є шар щебеню товщиною  $h$  (рисунк1), нижній шар - основа з піску. По поверхні шару щебеню на площу радіуса  $R$  діє розподілене навантаження, інтенсивність якого  $q$  визначається за формулою:

$$q = \frac{F}{\pi R^2} \quad (1)$$

де  $F$  - величина еквівалентної зосередженої сили.

Зернисті шари мають здатність до розподілу навантаження. Розсіювання вертикальних напружень (тисків) по глибині шару відбувається під деяким кутом  $\alpha$ , який називають кутом розсіювання

напружень. Кут розсіювання напружень Б.С. Радовський [4] приймає рівним куту природного укосу. Наруження по глибині шару змінюються відповідно до припущення, що рівнодіючі навантаження не змінюються з глибиною, а площа, на якій вона діє, - збільшується. Таким чином, наруження по глибині зменшуються за величиною за рахунок розподілу на більшу площу. Для визначення їх інтенсивності скористаємося методом, запропонованим Б.С. Радовським [4].

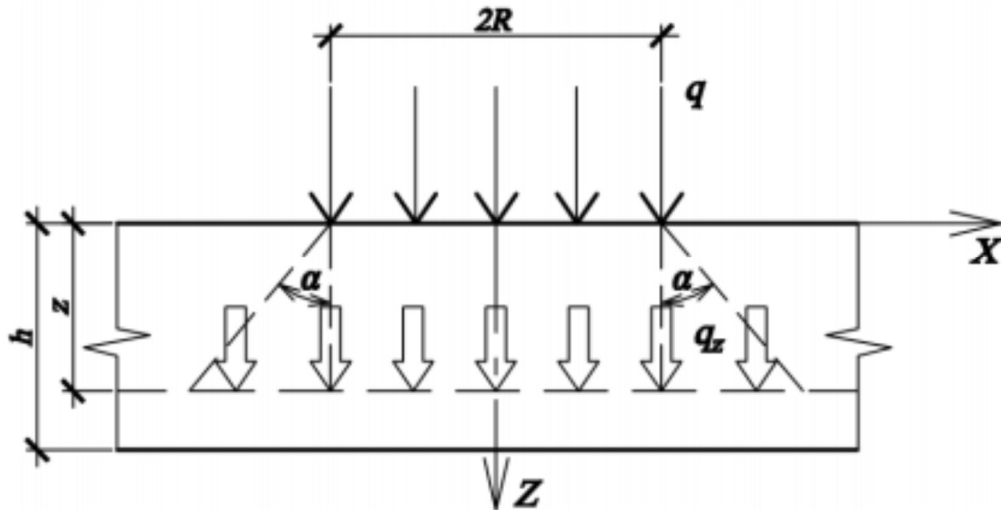


Рисунок 1 – Розрахункова схема

Figure 1 - Calculation scheme

Напруження на деякій глибині  $z$  визначаються виразом:

$$\sigma(z) = \frac{F}{\pi(R+z \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2} \quad (2)$$

Тиск  $q(z)$  на зерно щебеню приймемо рівним напруженню  $\sigma(z)$  на рівні центру ваги зерна. Тиск на зерна нижнього ряду щебеню, який має контакт з основою, визначимо за формулою:

$$q(z) = \frac{F}{\pi(R+(h-0.5d) \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2} \quad (3)$$

Розмір зерна  $d$  приймемо рівним середньому розміру зерна фракції 55 мм. Розподіл залишків на ситах в залежності від їх розміру наведено на рисунку 2. Кут напружень для щебеню приймаємо  $35^\circ$ . Кількість зерен, що вміщується в коло радіусом, обчисленим для  $\alpha = 35^\circ$ , становить 96 штук. Коефіцієнт заповнення це відношення суми площ окремих зерен, що вміщується в колі до площі цього кола. Для кола, показаного на рисунку 3, коефіцієнт заповнення становить 0,875.

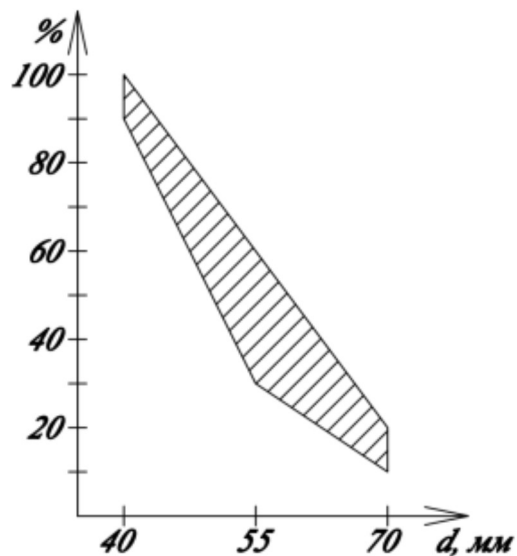


Рисунок 2 - Графік відносного вмісту зерен щебеню по крупності, що розміщені в зоні дії тисків

Figure 2 - Graph of the gravel grains relative content by the size in the zone of pressure

Навантаження на зерно нижнього ряду визначається як відношення загального еквівалентного навантаження на штамп і кількості зерен за формулою:

$$F_0 = \frac{F}{n} \quad (4)$$

$F_0$  - сила, що діє на одне зерно,  $n$  – кількість зерен.

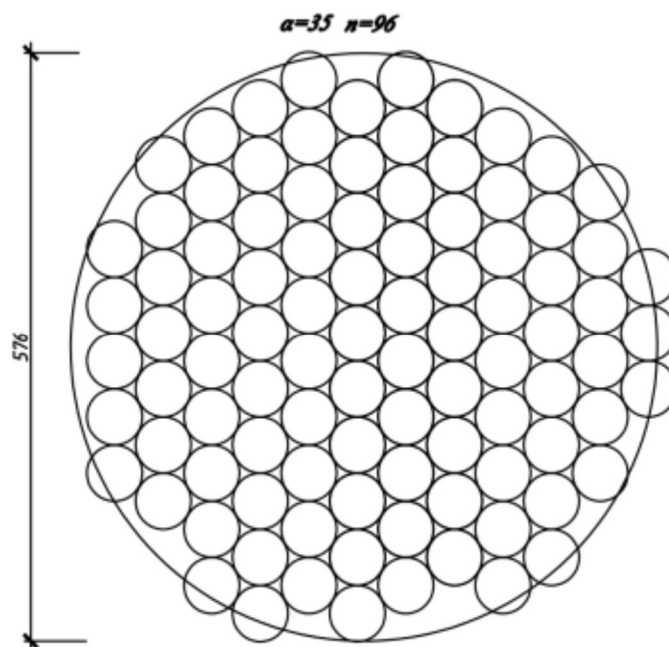


Рисунок 3 - Схема визначення кількості зерен нижнього ряду

Figure 3 - Scheme for determining the number of grains in the bottom row

#### Вертикальні та горизонтальні переміщення зерна сферичної (круглої) і кубовидної форми

Розглянемо три зерна щебеню, що розташовані впритул один до одного на нижній межі шару щебеню (рис. 4). Зерна щебеню будемо розглядати як сферичної, так і кубовидної форми. Прийmemo,

що зерна – це окремі тверді тіла. Для визначення сил взаємодії зерен пропонується модель деформування, в якій хорда, проведена в поперечному перерізі зерна через його центр, мала спільну точку з границею пружної основи і була перпендикулярна осі  $v$ , що з'єднує центри зерен. Навантаження  $F_0$  прикладається на верхнє зерно вертикально. Після ущільнення шару щебеню, зерна нижнього ряду виявляються майже повністю втиснутими в основу [7]. Через точку контакту навантаження передається на нижні зерна і потім на пружну основу, викликаючи реакцію відповіді. Замінімо реальну форму кубовидних зерен щебеню розрахунковим сферичним зерном. Будемо вважати, що зерна мають сферичну форму і однаковий діаметр  $d$ . При цьому площа взаємодії з пружною основою приймається рівною площі кола, утвореного перетином сферичного зерна по хорді, що проходить через центр. Ця площа повинна дорівнювати площі поперечного перерізу зерна кубовидної форми, тим самим забезпечується рівність переміщень зерен.

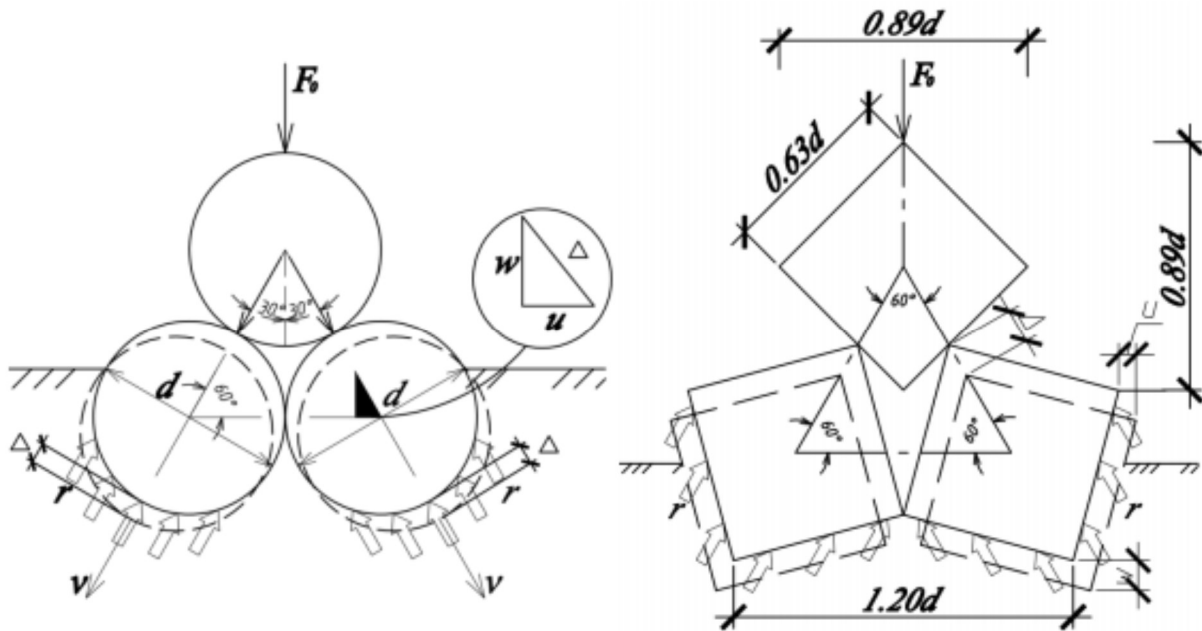


Рисунок 4 - Схема взаємодії зерен щебеню сферичної і кубовидної форми

Figure 4 - Scheme of gravel grains of spherical and cubic shape interaction

Визначимо значення сили, спрямованої вздовж осі  $v$ , що з'єднує центри зерен:

$$F_v = \frac{0.5F_0}{\cos 30^\circ} = \frac{F_0}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Реакція основи  $r$  буде пропорційна коефіцієнту постелі  $C_z$  та переміщенню  $\Delta$ :

$$r = C_z \cdot \Delta \quad (6)$$

Реакція основи, виражена через навантаження, визначається виразом:

$$r = \frac{F_v}{A} = \frac{4F_v}{\pi d^2} \quad (7)$$

Прирівнюючи праві частини виразів (6) та (7) отримаємо:

$$\Delta = \frac{4F_0}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot C_z \cdot d^2} \quad (8)$$

Горизонтальне і вертикальне переміщення ( $u$  та  $w$  відповідно) визначаються за такими залежностями:

$$\begin{aligned} &= \sin 30^\circ \cdot \Delta = \frac{1}{2} \Delta \\ &w = \cos 30^\circ \cdot \Delta = \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta \end{aligned} \quad (9)$$

З урахуванням виразу (8) вертикальне переміщення  $w$  можна визначити за формулою:

$$w = \frac{2F_0}{\pi \cdot C \cdot d^2} \quad (10)$$

Формула (3.10) з урахуванням (3) і (2) буде мати вигляд:

$$w = \frac{F}{2\pi \cdot C_z \cdot K_3 \cdot (R + (h-d) \cdot \tan \alpha)^2} \quad (11)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт заповнення розрахункової площі.

Визначимо вертикальні переміщення по формулі (10), варіюючи значення коефіцієнта постелі в межах  $0,01 \leq C_z \leq 0,10$  кН / см<sup>3</sup>, що відповідає піщаним ґрунтам.

Значення вертикальних переміщень, обчислених за даною методикою, збігаються з експериментальними значеннями вертикальних переміщень, відповідними коефіцієнтами постелі 0,07 - 0,10 кН / см<sup>3</sup>. Прогин, обчислений за формулою (10), позначимо  $w(1)$ , а прогин, обчислений за формулою (11) -  $w(2)$ . Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Залежність вертикального переміщення  $w$  від коефіцієнта підстилення  
 Table 1 - Dependence of vertical displacement  $w$  on the underlying coefficient

| $C_z$ ,<br>кН/см <sup>3</sup> | 0,01  | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 1,0  |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $W(1)$ ,<br>мм                | 9,92  | 4,96 | 3,31 | 2,48 | 1,98 | 1,65 | 1,42 | 1,24 | 1,10 | 0,99 |
| $W(2)$ ,<br>мм                | 10,08 | 5,04 | 3,36 | 2,52 | 2,02 | 1,68 | 1,44 | 1,26 | 1,12 | 1,01 |

Осадка зернистого шару без геосинтетичного прошарку дорівнює вертикальному переміщенню  $w$ , обчисленому за формулами (10) і (11), так як шар вважаємо нестисливим. Структурні переміщення матимуть місце лише в межах нижнього ряду зерен.

#### Розрахунок прогину традиційної конструкції дорожнього одягу методом пошарового підсумовування

Для визначення напружень в ґрунтовій основі при дії на нього круглого штампа радіусом  $R$ , завантаженого зосередженим навантаженням  $F$ , розглянемо розрахункову схему, наведену на рисунку 5.

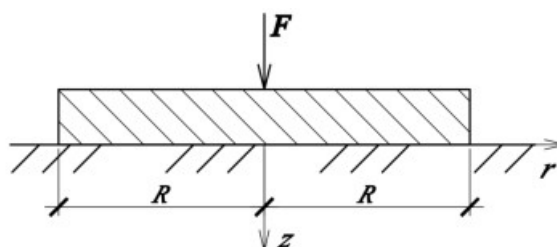


Рисунок 5- Розрахункова схема

Figure 5- Calculation scheme

Напруження в ґрунті будемо визначати методом експоненційної апроксимації, який широко використовується в дорожньому будівництві. Наприклад, експоненціальна залежність у вигляді

$$Q_z = 2q[\exp(v\{1 - \gamma_1 z\})] \quad (12)$$

де  $B$  - константа;  $\gamma$  - коефіцієнт загасання по глибині.

Такий спосіб апроксимації напружень дозволяє змінювати форму функції напружень за допомогою одного параметра  $\gamma$ . До недоліку такого методу належить неможливість зміни форми функції напружень при багатошарових конструкціях.

Пропонується замість виразу (12) використовувати таку залежність для визначення напружень в точках, розташованих на глибині  $z$ :

$$\sigma_z = 2q[\exp(v\{1 - \gamma_1 z\})]^{(1-v)} \quad (13)$$

де  $\gamma_1$  - коефіцієнт загасання, що визначається за результатами експериментальних досліджень.

У таблиці 2 представлені значення  $\gamma_1$ , що обчислені при різних значеннях коефіцієнта бокового тиску  $\nu$ , що змінюється в межах від 0,2 до 0,8 [3].

Таблиця 2 - Значення  $\nu$  і  $\gamma_1$

Table 2 - Values of  $\nu$  and  $\gamma_1$

| $\nu$      | 0,2 | 0,3   | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7   | 0,8 |
|------------|-----|-------|------|------|------|-------|-----|
| $\gamma_1$ | 23  | 19,15 | 17,1 | 16,5 | 17,1 | 19,15 | 24  |

Залежності розподілу напружень  $\sigma_z$  по глибині представлені на рисунку 6.

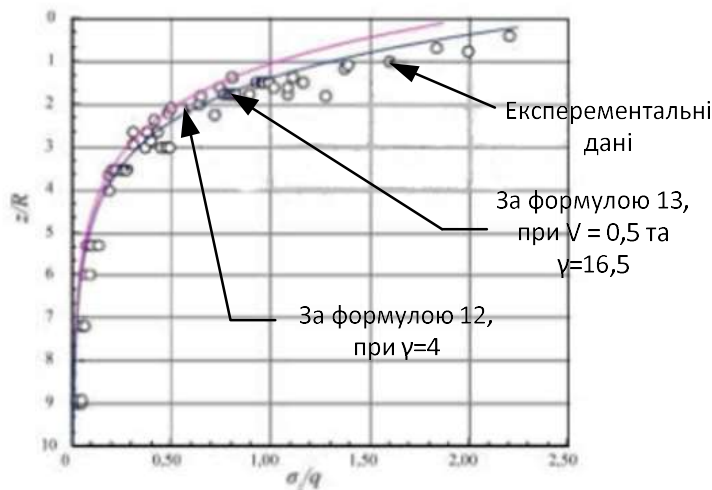


Рисунок 6 - Експериментальне і теоретичне розподілення напружень під штампом відповідно до формулами (12) і (13)

Figure 6 - Experimental and theoretical stress distribution under the stamp in accordance with formulas (12) and (13)

Таким чином, є кілька формул для визначення напружень по осі симетрії жорсткого штампа. Розрахунки за цими формулами наближаються до експериментальних даних, але все ж дають занижені значення напружень на певних глибинах. Експоненціальна апроксимація за формулою (12) також дає занижені значення напружень, тому епіюра напружень має недостатню опуклість на інтервалі  $0 < z/R < 4$ .

Найкращий збіг з результатами експерименту для піщаної основи демонструє експоненціальна залежність (13), в якій замість одного коефіцієнта загасання по глибині використані два постійні: коефіцієнт бокового тиску ґрунту  $\nu = 0,5$  і експериментально встановлений для даного ґрунту коефіцієнт загасання  $\gamma_1 = 16,5$ .

Осадка в поверхні шару обмеженою потужності  $H$  при завантаженні навантаженням, розподіленої по площі обмежених розмірів, визначається виразом:

$$w = \int_0^H v \cdot \frac{\sigma_z}{E_z} \cdot dz \quad (14)$$

де  $E_z$  - модуль пружності ґрунтової основи;  $\sigma_z$  - вертикальні стискаючі напруження в шарі, що визначаються за формулою (10);  $v$  - коефіцієнт бокового тиску.

Для визначення осадки необхідно задати функцію розподілу наружень, близьких до діючих в дискретних середовищах. Вважаємо, що вертикальні стискальні напруження в шарі  $\sigma_z$  по глибині змінюються відповідно до експоненційної залежності:

$$\sigma_z = q \cdot B \cdot \exp(-\gamma z), \quad (15)$$

де  $q$  - інтенсивність діючої на поверхні шару навантаження.  
 Горизонтальні нормальні напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_x = \sigma_y = v \cdot \sigma_z \quad (16)$$

де  $v$  - коефіцієнт бічного тиску [3]:

$$v = \frac{(1-2\mu) \cdot (1+\mu)}{(1-\mu)} \quad (17)$$

Вираз (16) встановлює зв'язок між коефіцієнтом бічного тиску  $v$  і коефіцієнтом Пуассона ґрунту  $\mu$  в умовах компресійного стиснення.

З умови рівності теоретичного прогину експериментальному були підібрані значення коефіцієнтів  $B = 1$  і  $\gamma = 3,02$ , підстановка яких у вираз (15) та (14) і подальше інтегрування призводять до наступної залежності для визначення осадки на поверхні дискретного шару:

$$w = -\frac{(1-2\mu) \cdot (1+\mu)}{(1-\mu)} \cdot \frac{q \cdot B}{\gamma \cdot E} \cdot (\exp(-\gamma H) - 1) \quad (18)$$

В якості альтернативної функції загасання наружень по глибині розглянемо функцію:

$$\sigma_z = B_1 \cdot q \{ \exp[v \cdot (1 - \gamma_1 \cdot z)] \}^{(1-v)} \quad (19)$$

інтегрування якої призводить до виразу:

$$w = \frac{q \cdot B_1}{\gamma_1 \cdot E \cdot (v-1)} \cdot (\exp[v(v-1) \cdot (\gamma_1 \cdot H - 1)] - \exp[-v(v-1)]) \quad (20)$$

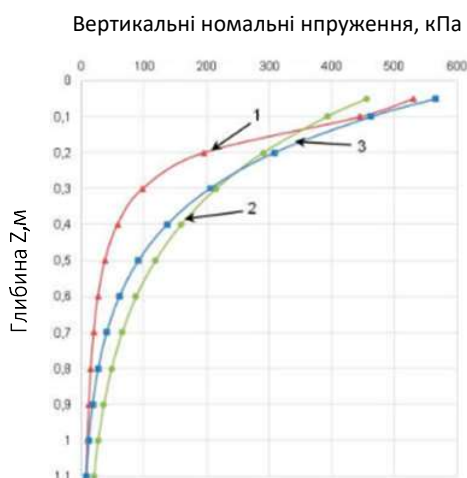


Рисунок 7 - Розподіл напружень по глибині

Figure 7 - Distribution of stresses by depth

На рисунку 7 крива 1 отримана за виразом (16), крива 2 отримана за виразом (13), крива 3 отримана за виразом (19).

Для раціонального вибору функції напружень, найбільш точно наближений закон загасання напружень в ґрунтовому масиві, необхідно отримати інформацію про діючі напруження всередині шару ґрунту.

**Вплив георатки, що укладається в основу незв'язного шару конструкції дорожнього одягу, на його напружено-деформований стан**

Для того щоб оцінити вплив георатки на напружено деформований стан зернистого шару розглянемо шар, що складається з дискретного матеріалу, як суцільний. В такому шарі напруження розтягу буде сприймати георатка, а стискаюче - зернистий матеріал. Таким чином, введення георатки перетворює дискретний шар з середовища з односторонніми зв'язками в матеріал, що працює як на розтяг, так і на стиснення - матеріал з двосторонніми зв'язками. Введення георатки в основу шару з зернистого матеріалу дозволяє об'єднати частинки шару в області до 25 см по висоті [8].

Розглянемо двошарову систему, в якій верхній шар представлений крупним зернистим матеріалом. Нижній шар виконаний з більш дрібного зернистого матеріалу - піску (рисунк 8).

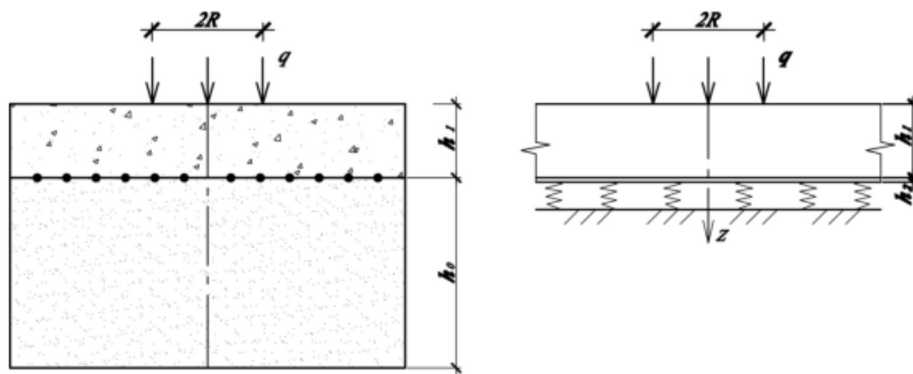


Рисунок 8 - Розрахункова схема армованої системи

Figure 8 - Calculation scheme of the reinforced system

При дії прикладеної до поверхні верхнього шару навантаження, на зерна передається не тільки вертикальний тиск, але і горизонтальний - розпір. Під дією цих сил зерна нижнього ряду мають вертикальні і горизонтальні переміщення. Характерною особливістю деформування зернистого середовища є наявність значних структурних деформацій. За рахунок цих деформацій відбувається втиснення зерен нижнього ряду деформованого зернистого шару в ґрунт основи. При цьому відбувається взаємне проникнення матеріалу одного шару в інший. За даними проф. В.Н. Шестакова [8] глибина вдавлення зерна щебеню приблизно відповідає характерному розміру зерна щебеню. Таким чином, фактична товщина верхнього шару зменшується. Щоб зберегти розрахункову товщину верхнього шару, доводиться робити перевитрату кам'яного матеріалу. При введенні стабілізуючого прошарку у вигляді тривісноорієнтованої георатки характер роботи зернистого шару змінюється (рисунк 9).

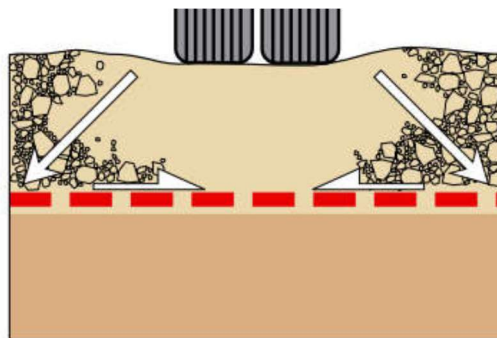


Рисунок 9 - Схема взаємодії зерен щебеню у механічно стабілізованій системі

Figure 9 - Scheme of gravel grains interaction in a mechanically stabilized system

Зерна щебеню розклинюються в комірці геогратки, при цьому геогратка перешкоджає проникненню зерен щебеню в нижній шар. Разом з тим, ребра геогратки сприймають розпір, що дозволяє механічно стабілізованому шару працювати по принципу як арка на розпір. Таким чином, введення тривісноорієнтованої геогратки в конструкцію дорожнього одягу, виключає проникнення зерен щебеню в основу, чи підстильний шар. При цьому висота шару щебеню залишається постійною, горизонтальним і вертикальним переміщенням зерен нижнього ряду перешкоджає геогратка, що виконує подвійну функцію: перешкоджає втиснення зерен нижнього ряду в ґрунт основи і забезпечує сприйняття розтягуючих напружень в шарі при його деформації. Будемо вважати, що стискаючі зусилля в шарі щебеню будуть передаватися безпосередньо від зерна до зерна через щільний контакт. Розтягуючі напруження буде сприймати геогратка. При цьому на нижній підстиляючий шар передаються тільки вертикальні напруження.

Горизонтальні напруження, що виникають на рівні нижнього ряду щебеню, сприймаються ребрами геогратки. На підставі цього припускаємо, що посилений шар із тривісноорієнтованої геогратки утворює механічно стабілізований шар, при цьому підстильний шар розглядається як пружна основа.

Щоб підтвердити гіпотезу про роботу посиленого шару як механічно стабілізованого, визначимо відносне подовження на його нижній межі. Механічно стабілізований шар утворюється за допомогою тривісноорієнтованої геогратки з гексагональною формою отвору та вузлом який має ізометричну структуру, та має цілий ряд переваг, серед них - здатність рівномірно сприймати розтягуючі зусилля в усіх напрямках 360 °.

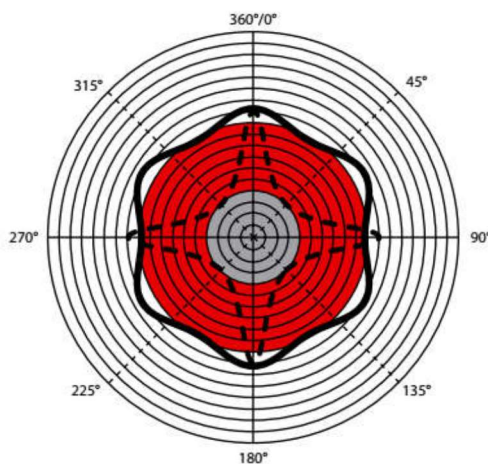


Рисунок 10 - Радіальна діаграма відображає залежність коефіцієнтів жорсткості двоосноорієнтованої геогратки Тенсар і тривісноорієнтованої геогратки Тенсар TriAx від напрямку прикладання навантаження (0°-360°).

Figure 10 - The radial diagram shows the dependence of the biaxially oriented Tensar geogrid and the triaxially oriented Tensar TriAx geogrid stiffness coefficients on the load application direction (0°-360°).

В такій формі отвору щебінь розклинюється і не вдавлюється у нижчевлаштований шар (рис. 9). Горизонтальне зусилля (розпір) визначається з рівнянь статки.

Механічно стабілізований шар – це механізм взаємної зчіпки, за допомогою якого взаємодіють геогратка тривісна і наповнювач; механізм утримання, при якому структура геогратки тривісної утримує частинки наповнювача, маючи додатковий ефект стабілізації і утримання наповнювача, який збільшує пружність зернистого шару, і пов'язане з цим зростання його еластичності.

$$H = \frac{F_0}{2\sqrt{3}} \quad (21)$$

де  $F_0$  визначається відповідно до виразу (3).

Будемо вважати, що розпір сприймається тільки геограткою (опором ґрунту основи нехтуємо). Розглядаючи посилений шар як плиту на пружній основі, визначимо абсолютне подовження плити в нижній межі як переміщення при центральному розтягу стержня (ребра геогратки):

$$u = \frac{Ha_1}{EA} \quad (22)$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу геогратки;  $A$  - площа ребра геогратки.

Замінюючи зернистий шар суцільною однорідною плитою, відносно подовження плити на рівні нижніх розтягнутих волокон визначаємо за виразом:

$$\varepsilon_x = \frac{u}{a_1} = \frac{H}{EA} = \frac{F_0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot A} \quad (23)$$

При використанні жорстких тривісноорієнтованих георешіток з високим модулем пружності відносні деформації плити, що визначаються відповідно вираження (23) матимуть малі значення. Такі деформації не дозволять зернам щебеню нижнього ряду втрачати контакт між собою, що дозволяє розглядати шар як матеріал з двосторонніми зв'язками.

На підставі викладеного приймаємо гіпотезу про те, що в якості розрахункової моделі посиленої основи дорожнього одягу може бути прийнята модель плити на пружній основі, а для її розрахунку використана технічна теорія вигину плит.

При цьому шар щебеню замінюється багатшаровою плитою з суцільного матеріалу, модуль пружності якого може змінюватися від шару до шару.

Нижній шар цієї багатшарової плити приймається стабілізованим.

Підстильний шар піску враховується як пружна основа. Таким чином, інтегральна характеристика жорсткості всієї конструкції складається з двох складових: жорсткості багатшарової плити і жорсткості пружної основи.

Пружний прогин визначається варіаційними методами теорії пружності.

### Висновки

Питання підвищення несної здатності грантів залишаються найбільш актуальними при проектуванні транспортних споруд. Наявність різних природно-кліматичних, інженерно-геологічних і територіальних умов накладає певні обмеження на вибір того чи іншого заходу, спрямованого на збільшення фізико-механічних характеристик грантів, в тому числі і сипучих.

Практика використання геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві показує, що їх застосування в різних областях будівництва зростає. З'являються нові види матеріалів, підприємствами освоєно технології по випуску геосинтетичних матеріалів для конструкцій дорожніх одягів для вирішення тих чи інших заходів. При цьому розвитку галузі нормативна база відстає від номенклатури матеріалів, що постійно оновлюється. Механізм роботи геосинтетичних матеріалів до кінця не вивчений, немає методу розрахунку дорожніх конструкцій із застосуванням різних за фізико-механічними властивостями стабілізуючих матеріалів.

Слід зазначити, що методика розрахунку стабілізованих геограткою незв'язних шарів дорожніх одягів, дає можливість проектувальнику оцінити вплив геогратки на напружено-деформований стан як всієї конструкції в цілому, так і її окремих частин – шарів дорожніх одягів та стабілізованих елементів. В результаті застосування методу може бути вибрано оптимальне поєднання параметрів і характеристик елементів стабілізованих та традиційних конструкцій.

### Перелік посилань

1. Березанцев, В.Г. Осесимметричная задача предельного равновесия сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1952. – 117 с.
2. Кандауров, И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. 2-е изд., испр. и перераб. Л.: Стройиздат, 1988. – 280 с.
3. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. – М.: Стройиздат, 1977. – 256с.
4. Радовский, Б.С. Первые представления о прочности и расчете дорожных одежд: дорожные одежды до XX века / Б.С. Радовский // Дорожная техника. 2012.– С. 120-133.
5. Цытович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. вузов. – М.: Высш. шк.. – 1983. – 288 с.
6. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 636 с.
7. Шестаков, В. Н. О закономерностях взаимопроникновения щебня и песка при уплотнении оснований катками статического действия / В. Н. Шестаков, В. М. Гольцов, А. С. Нестеров, В. А. Гриценко. // Тезисы докладов международной научнопрактической конференции "Проблемы автомобильных дорог России и Казахстана". 15-19 октября 2001 года / СибАДИ. - Омск : СибАДИ, 2001. - С. 47-49.
8. Rakowski, Z. Tests of geo-grids reinforcement effectiveness in geo-mattresses integrated in the foundation of embankment on soft subsoil / Zikmund Rakowski. – Technical University of GYÖR. – 2007. – 15 p.

## SUBSTANTIATION OF THE ROAD CONSTRUCTION UNBOUND MATERIALS CALCULATION MODEL WITH GEOGRIDS STABILIZATION

**Smirnova Natalia**, Dr.Sci.Tech., Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Professor of the Road Construction and Maintenance Department, e-mail: NataliaVS.0105@gmail.com, tel. +3805727073780, +3809775099793. 61002, Ukraine, Kharkiv, street Yaroslava Mudrogo, 25, room 255. [orcid.org/0000-0001-8458-1954](https://orcid.org/0000-0001-8458-1954)

**Kharin Pavlo**, Uniprom LLC, project team manager, e-mail: kxarin@ukr.net, tel. +38 050 413 59 50, Ukraine, 03150, Kyiv, street Predslavynska 37, office 303 [orcid.org/0000-0001-7858-0912](https://orcid.org/0000-0001-7858-0912)

**Usychenko Olena**, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, fbbk@ukr.net, тел. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, [orcid.org/0000-0002-7482-8420](https://orcid.org/0000-0002-7482-8420)

**Kushnirova Oksana**, National Transport University, Senior Lecturer, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, e-mail: kushnirovao@gmail.com, tel. +380506545522, Ukraine, 01010, Kyiv, st. M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, office 218. <https://orcid.org/0000-0001-6011-5609>

**Abstract:** The article considers the peculiarities of the unbound material interaction with the soil base under the vertical loading action. Vertical and horizontal grain movements of spherical (round) and cubic shape are analyzed; vertical and horizontal movements of spherical (round) and cubic shape grain; calculation of the traditional pavement construction deflection by the method of layer-by-layer summation. The influence of the geogrid arranged at the unbound layer base of the pavement structure on its stress-strain state has been studied.

**Keywords:** road construction, geosynthetic materials, vertical stresses, elastic deflection, loading, deformation, calculation models.

### References

1. Berezantsev, V.H. Osesymmetrychnaia zadacha predelnogo ravnovesiia сыpучей среды. М.: Hostekhyzdat, 1952. – 117 s.
2. Kandaurov, Y.Y. Mekhanyka zernystykh sred y ee prymerenye v stroytelstve. 2-e yzd., yspr. y pererab. L.: Stroyzdat, 1988. – 280 s.
3. Klein, H.K. Stroytelnaia mekhanika сыpучыkh тел / H.K. Klein. – М.: Stroyzdat, 1977. – 256s.
4. Radovskyi, B.S. Первые predstavleniya o prochnosti y raschete dorozhnykh odezhd: dorozhnye odezhdы do KhKh veka / B.S. Radovskyi // Dorozhnaia tekhnika. 2012. – S. 120-133.
5. Тсытович, N.A. Mekhanyka hruntov (kratkyi kurs): Uchebnyk dlia stroyt. vuzov. – М.: Vyssh. shk.. – 1983. – 288 s.
6. Тсытович, N.A. Mekhanyka hruntov / N.A. Тсытович. – М.: Hos. yzd-vo lyteratury po stroytelstvu, arkhytekture y stroytelnykh materiyalam, 1963. – 636 s.
7. Shestakov, V. N. O zakonomernostiakh vzaymopronyknoveniya shchebnya y peska pry uplotnenyy osnovany katkamy statycheskogo deistviya / V. N. Shestakov, V. M. Holtsov, A. S. Nesterov, V. A. Hrytsenko. // Tezysy dokladov mezhdunarodnoi nauchnopraktycheskoi konferentsyy "Problemy avtomobylnykh dorog Rossyy y Kazakhstana". 15-19 oktiabria 2001 hoda / SybADY. - Omsk : SybADY, 2001. - S .47-49.
8. Rakowski, Z. Tests of geo-grids reinforcement effectiveness in geo-mattresses integrated in the foundation of embankment on soft subsoil / Zikmund Rakowski. – Technical University of GYÖR. – 2007. – 15 p.

## ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ УКОЧЕНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

### EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF ROLLED CEMENT CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION



*Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропорти, e-mail: [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com), +380503524124, id ORCID 0000-0001-9246-7561.*



*Островерхий Олег Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри аеропорти, Національний транспортний університет, e-mail: [oostroverkhyy@gmail.com](mailto:oostroverkhyy@gmail.com), +380974848976, id ORCID 0000-0003-2182-2209.*



*Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: [andrew\\_d@ukr.net](mailto:andrew_d@ukr.net), +380502816006, id ORCID 0000-0001-6144-7533.*

**Анотація.** Стаття присвячена підбору складу цементобетонної суміші та визначенню загального модуля пружності дорожнього покриття із уложеного цементобетону для улаштування покриття та основи автомобільних доріг, автомобільних стоянок та гідротехнічних споруд з високою несною здатністю.

Об'єкт дослідження – процеси проектування складу та забезпечення міцності та несної здатності уложеного цементобетону.

Метою роботи є проектування складу уложеного бетону за методом максимального ущільнення (Проктора) та підбір складу та особливості технології влаштування шарів.

Визначення загального модуля пружності та модуля пружності матеріалу за даними визначення прогину балкою Бенкельмана.

Методи дослідження – науково-експериментальний.

Результати статті можуть бути використані при експлуатації дорожніх і аеродромних одягів в покриттях та основах для підвищення несної здатності та довговічності автомобільних доріг.

**Ключові слова:** укований бетон, проектування складу, загальний модуль пружності, модуль пружності матеріалу, несна здатність.

**Вступ.** На початку минулого століття в багатьох країнах бетон у дорожньому будівництві ущільнювали за допомогою котків. Однак наявні тоді котки не забезпечували якості бетону, яка досягалася в тридцять років після впровадження методу віброущільнення. У сімдесяті роки, коли стали замислюватися над відповідними заходами енергозбереження й економічним зміцненням доріг загального користування, поліпшене на той час устаткування зіграло вирішальну роль у повторному відкритті уложеного цементобетону (УЦБ) для дорожнього будівництва.

**Визначення:** Укочений цементно бетон (RCC - Roller Compacted Concrete) - це шар затверділої бетонної суміші з оптимальним вмістом води (схожа на природну вологість ґрунту), яка визначається модифікованим методом Проктора - укладається та ущільнюється із застосуванням дорожньо-будівельних машин (асфальтоукладача та котків).

У вісімдесяті роки минулого століття почався другий етап досліджень в будівництві доріг з монолітним цементобетонним покриттям. На даному етапі фахівці відзначали, що дорожні одяги з цементобетонним покриттям найбільш перспективні. Протягом тривалого терміну служби при мінімальних витратах на ремонт і утримання доріг зберігаються високі транспортно-експлуатаційні показники. В цей же період вперше з'являється термін «укочений бетон (УЦБ) англ. roller-compacted concrete (RCC)» або іноді його ще називали «пісний бетон». В дорожньому будівництві під терміном «пісний бетон» часто розуміють низькомарочні бетони з жорстких бетонних сумішей, що ущільнюються методом укатки [1-5]. Пісні дорожні бетони призначаються для влаштування основ під асфальтобетонні покриття. Укочений бетон - це не обов'язково «пісний бетон», оскільки останній має понижений вміст цементу і невисоку марку (М75, М100, М200), а укочений бетон можна отримати з марок М300, М400 і більше, при, відповідно, більш високому вмісті цементу.

У дорожньому будівництві укочений бетон при інтенсивних і високих транспортних навантаженнях використовується в якості несного шару основи. Однак його також використовують для паркування, доріг промислового призначення, площ для військових потреб і сільських доріг безпосередньо як несне дорожнє покриття, придатне для руху. Будівництво шарів дорожнього одягу з укоченого бетону отримало найбільшого поширення в Швеції і Фінляндії. У 1984 році в Швеції побудовано 10 тисяч квадратних метрів покриттів, в 1986 році - 100 тисяч м<sup>2</sup>.

Головними вимогами, що пред'являються до покриття з бетону як дорожньо-будівельного матеріалу, є висока зносостійкість і морозостійкість.

#### **Аналіз стану справ.**

Призначені для будівництва покриттів, суміші укоченого бетону, в порівнянні з традиційними цементобетонними сумішами містять менше цементу (зниження витрат на 50 - 115 кг / м<sup>3</sup>). Бетон за 28 діб досягає міцності при стисненні 28 - 35 МПа. Широкому застосуванню укоченого бетону для будівництва доріг може сприяти не тільки істотне зниження експлуатаційних витрат внаслідок високої міцності і довговічності дорожнього одягу, а й те, що поверхня бетонного покриття відображає світла на 44% більше ніж поверхня асфальтобетону. При цьому підвищується безпека дорожнього руху.

Товщина стандартного верхнього шару покриття залежить від категорії дороги по інтенсивності транспорту й несної поверхні нижньої конструкції, наприклад [1-11]:

- у Франції 15-18 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4-9 см,
- в Іспанії 20-25 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4-8 см.

На випробних ділянках у Німеччині надійно показала наступна конструкція (будівельний клас III по нормах Rst0):

- 18-22 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4...8 см.

З технічних міркувань товщина укоченого бетону в ущільненому стані не повинна перевищувати 24 см. На шарах товщиною > 20 см необхідно перевіряти достатній ступінь ущільнення нижньої сторони шару. Мінімальна товщина укладання становить 12 см.

При відсутності бордюрів укочений бетон укладають похило з виступом над крайкою 30 см. Щоб уникнути вдавлень і зсувів бордюри необхідно засипати.

Укочений бетон укладають в один шар і розподіляють на окремі плити щоб уникнути великих тріщин. Дюбелями або анкерами плити не скріплюють. На несних шарах із укоченого бетону після ущільнення ще у свіжоприготовленій будівельній суміші вдавлюються або пізніше надріжються зарубки (карби) (напр., ручною котком з ріжучою крайкою різця).

Необхідно відзначити, що практично у всіх країнах при приготуванні жорсткої бетонної суміші використовують золи виносу. Під золою виносу розуміються відходи промисловості, що залишаються після спалювання твердого палива. Встановлено, що більшість зол віднесення ТЕЦ, котелень мають

деяку активність, яка позитивно позначається в кінцевому підсумку на міцності бетону. Мета застосування зол віднесення - знизити витрату цементу за рахунок заміни частини в'язучого, при цьому міцність бетону не повинна зменшуватися. Друга причина, що змушує фахівців експериментувати з даної добавкою, це утилізація відходів промисловості. У деяких країнах рекомендується замінювати високомарочний портландцемент на шлакопортландцемент та використовувати золи теплових електростанцій. Крім цього відзначається, що маломіцні карбонатні породи в деяких випадках більш ефективні, ніж міцніші наповнювачі: вони відрізняються мінімальною гідралічною і термічною усадкою. Однак область застосування матеріалу на таких компонентах дещо обмежена: це сільськогосподарські дороги, місцеві дороги з невисокою інтенсивністю руху (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1 - Приклади сільськогосподарської дороги з цементобетонним покриттям  
Figure 1 - Examples of an agricultural road with cement-concrete pavement

Технологія укоченого бетону успішно використовується при зведенні дамб і гребель в гідротехнічному будівництві та дозволяє:

- проєктантам зменшити обсяг тіла греблі завдяки можливості побудувати вертикальну напірну грань греблі;
- збільшити кількість укладеного матеріалу в день та зменшити само розігрів конструкції;
- при правильному виконанні відмовитися від укладання водонепроникної мембрани на напірну грань.

Найбільша в світі дамба ГЕС в долині ріки Омо (Ефіопія) – найбільш знаковий проєкт гідроелектроенергетики побудована із УБ має потужність 6,000 МВатт. Висота 175 м та довжина 1,780 м. В тіло дамби вкрито 10,5 млн. м<sup>3</sup> УБ. Замовник: корпорація ЕЕРСо.

На думку німецьких фахівців, одна з головних переваг укоченого бетону як матеріалу - це те, що відразу після ущільнення по ньому можуть рухатися автомобілі. Ця здатність обумовлена консистенцією суміші (жорсткістю суміші) і зниженим вмістом води.

Протягом терміну служби цементобетонного покриття (30 років) асфальтобетонне покриття буде потрібно ремонтувати три рази з інтервалом 8 років, вважають австрійські дорожники, тому вартість цементобетонних покриттів складе 50% вартості асфальтобетонних покриттів. Ефективність влаштування цементобетонних покриттів, включаючи витрати на утримання і ремонт в Англії оцінюють до 75%.

#### Основна частина.

##### 1. Проєктування конструкцій дорожнього одягу із укоченого бетону.

Проєктування дорожнього одягу з шарами із УЦБ не відрізняється від традиційного підходу.

В Каталозі конструкцій дорожнього одягу Німеччини укочений бетон рекомендується використовувати як для покриття жорсткого так і основи нежорсткого дорожнього одягу.

Стандартний профіль дороги з бетонним покриттям для місцевих доріг наведено на рис. 2.



Рисунок 2 – Влаштування шару із укоченого бетону: а) односмугової з'єднувальної (з високою інтенсивністю руху); б) сільськогосподарської дороги

Figure 2 - Arrangement of a layer of hardened concrete: a) single-lane connecting (with high traffic intensity); b) agricultural road

**2. Склад та властивості суміші укоченого цементобетону.** Укочений бетон складається з не дроблених і/або дроблених мінеральних матеріалів, гідралічних в'язучих речовин і за потреби наповнювачів і добавок до бетонної суміші. Найчастіше для досягнення максимально можливого ступеня ущільнення суміш підбирається за правилами механіки ґрунтів.

Опір укоченого бетону при стиску відповідає опору бетону для дорожніх покриттів і досягає значення від 30 до 50 Н/мм² (клас міцності В 25 ... В 40).

Укочений бетон морозостійкий. Проте, необхідна стійкість до розморозуючих солей забезпечується тільки при дуже високому ступені ущільнення. Повітров'язувальна добавка й кремнеземний пил підвищують опір атмосферним впливам.

При класичному способі дорожнього будівництва укочений бетон вимагає тонкого асфальтобетонного (бітумно – мінерального) покриття або поверхневої обробки для підвищення рівності й шорсткості поверхні.

Максимальна щільність ( $\rho_d^{\max}$ ), оптимальна вологість суміші та відношення між масою щебеню та піску ( $n$ ), встановлюється експериментально шляхом ущільнення проб по модифікаційному методу Проктора.

Візуально оптимальне водоцементне відношення та відношення мас, що складають при виготовленні зразків проявляється в тому, що поверхня штампу після завершення ущільнення суміші виглядає вологою.

Ущільненість суміші характеризується коефіцієнтом ущільнення ( $K$ ) та визначається за формулою:

$$K_{\text{ущ}} = \rho_d^{\max} / \rho_d^T, \quad (1)$$

де:  $\rho_d^{\max}$  - теоретична щільність суміші при її оптимальній вологості, що визначається за формулою:

$$\rho_d^T = \frac{\rho_B \cdot \rho_{33}}{\rho_B + \rho_{33} \cdot W_{\text{осм}}}, \quad (2)$$

де:  $\rho_{33}$  - середня щільність мінеральних часток заповнювача, т/м³;

$\rho_B = 1,0$  - щільність води, т/м³.

Коефіцієнт ущільнення сумішей повинен бути не менше 0,95 для нижніх шарів покриття та шарів основ дорожніх одягів та 0,97 для покриттів.

Зменшення степеня ущільнення цементобетонної суміші на 1% веде до зниження міцності бетону на 10-15%.

Модифікований показник водоцементного відношення -  $(B/C)^*$  визначають за формулою 3 з врахуванням вмісту пилюватої фракції в складі суміші ( $ПФ$ )

$$(B/C)^* = \frac{W_{OCM} \cdot \rho_d^{\max}}{C + ПФ}, \quad (3)$$

де:  $C + ПФ$  - в  $т/м^3$ .

Орієнтовні значення  $(B/C)^*$  для укочених бетонів знаходяться в межах 0,30 - 0,35.

Жорсткість піщаної бетонної суміші повинна бути не менше 20 с, а щебенистої не менше 50 с. Жорсткість суміші змінюється в залежності від щільності заповнювачів, приведеної до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції, ( $\rho_{d3}^*$ ) та визначається за формулою:

$$Ж = 20 + 400 \cdot \frac{\rho_{d3}^*}{\rho_{d3}^{\min*}}, \quad Ж = 20 + 400 \cdot (\rho_{d3}^* - \rho_{d3}^{\min*}), \quad (4)$$

де:  $\rho_{d3}^{\min*} = 2,0 \text{ т/м}^3$  - мінімально допустима щільність заповнювачів, що приведена до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції в укоченому бетоні.

Щільність заповнювачів, що приведена до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції, визначається за формулою:

$$\rho_d^* = \frac{П + Щ}{1 - C / \rho_{SC} - ПФ / \rho_{S3}}, \quad (5)$$

де:  $\rho_{SC}$ ,  $\rho_{S3}$  - середня щільність часток цементу та пилюватої фракції відповідно,  $т/м^3$ .

Орієнтовну витрату цементу встановлюють за табл. 1 та уточнюють за результатами випробувань контрольних зразків.

Таблиця 1 - Орієнтовну витрату цементу в складі укоченого бетону

Table 1 - Approximate consumption of cement in the composition of hardened concrete

| Марка цементу за<br>ДСТУ Б В.2.7-46 | Максимальна витрата цементу, $кг/м^3$ , для бетону марок (класів) |            |           |           |           |           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                     | 75 (B5)                                                           | 100 (B7.5) | 150 (B10) | 200 (B15) | 250 (B20) | 300 (B25) |
| 300                                 | 110-120                                                           | 165-180    | 220-240   | 310-340   | 350-410   | 430-450   |
| 400                                 | 100-110                                                           | 145-160    | 190-210   | 380-300   | 320-350   | 380-400   |
| 500                                 | 90-100                                                            | 125-140    | 160-180   | 240-260   | 270-320   | 330-350   |

### 3. Проектування складу укоченого бетону

Склад бетону визначається розрахунково експериментальним методом в такій послідовності:

- визначають вихідні характеристики цементу, піску та щебеню;

1) марку цементу за ДСТУ Б.В.2.7 – 43, ДСТУ Б.В.2.7 – 176, ДСТУ Б.В.2.7 – 46;

2) середню щільність часток цементу ( $\rho_c$ ), орієнтовні значення якої знаходяться у межах - 3,0-3,2  $т/м^3$ ;

3) гранулометричний склад піску та щебеню;

4) марку щебеню по подрібненню за ДСТУ Б В.2.7-71;

- за табл. 1 залежно від гранулометричного складу піску та щебеню визначають оптимальне співвідношення між ними  $n = П/Щ$ ;

- визначають максимальну щільність ( $\rho_{dcm}^{\max}$ ) та оптимальну вологість ( $W_{OCM}$ ) заповнювача за модифікованим методом Проктора;

- визначають вміст пилюватої фракції в заповнювачі з максимальною щільністю за формулою:

$$P_{\phi} = \rho_{d3}^{\max} \cdot n\phi, \quad (6)$$

де:  $P_{\phi}$  - вміст пилюватої фракції у суміші заповнювачів, дол.од;

- за формулою 5 визначають щільність заповнювача, приведену до нульового вмісту пилюватої фракції, при нульовому вмісті цементу  $\Pi=0$ ;

- за формулою 3 визначають жорсткість суміші і якщо вона не задовільняє вимогам здійснюють корегування співвідношення між крупним та дрібним заповнювачами ( $n$ );

- визначають витрату цементу ( $\Pi$ ) за табл. 1 залежно від потрібної марки бетону;

- визначають максимальну щільність ( $\rho_{dCM}^{\max}$ ) і оптимальну вологість ( $W_{OCM}$ ) бетонної суміші при ущільненні по модифікованому методу Проктора;

- витрату матеріалів на 1 куб.м. ущільненої суміші визначають залежно від її максимальної щільності за формулами

$$B = \rho_{dCM}^{\max} \cdot W_{OCM}, \quad (7)$$

$$\Pi = \frac{B}{B / \Pi}, \quad (8)$$

$$\Pi\phi = (\rho_{dCM}^{\max} - \Pi) \cdot \phi, \quad (9)$$

$$P = (\rho_{dCM}^{\max} - \Pi) \cdot n, \quad (10)$$

$$P_{\phi} = (\rho_{dCM}^{\max} - \Pi) \cdot n\phi, \quad (11)$$

$$(B / \Pi)^* = \frac{B}{(\Pi + P_{\phi})}, \quad (12)$$

де:  $\Pi$ ,  $P$ ,  $P_{\phi}$  - вміст щебеню, піску та пилу в заповнювачі, %.

- сумарна витрата цементу, щебеню, піску та пилюватої фракції повинна бути рівною максимальній щільності суміші.

- склад бетону уточнюють за результатами випробувань контрольних зразків.

Склад бетонної суміші, залежно від матеріалів, які застосовуються, рекомендується підбирати в сертифікованій лабораторії.

#### 4. Виготовлення бетонної суміші та влаштування шарів із дорожнього укоченого бетону

Укочений бетон можна змішувати в цементобетонних (ЦБЗ) або асфальтобетонних (АБЗ) змішувальних установках. Для укладання не потрібно ніякого спеціального устаткування. Достатньо устаткування, яким укомплектована дорожньо – будівельна організація. Укочений бетон дає меншу усадку, ніж вібрований бетон, що веде до менших усадочних напружень і тим самим скорочує небезпеку появи тріщин (рис. 3).

Слід враховувати підвищене зношування обладнання при використанні стандартних асфальтоукладальників, тому для технології укоченого бетону необхідне удосконалення їх конструкції.

**Укладання укоченого бетону.** Будівельна суміш повинна: добре ущільнюватися за допомогою наявної в розпорядженні техніки (бетоноукладальні машини, асфальтоукладальники); незважаючи на землісто-вологу консистенцію не розшаровуватися при обробці; забезпечувати міцність у не просушеному стані, достатню для негайного руху укладальників та будівельної техніки.

Будівельна суміш виготовляється в змішувальних установках. Час змішування повинний становити не менше 60 секунд. При транспортуванні до будівельної ділянки або простоях свіжоприготовлену суміш необхідно захищати від атмосферних впливів. Перевезення, укладання й ущільнення повинні бути погоджені між собою таким чином, щоб укочений бетон був покладений і ущільнений не пізніше ніж через 90 хвилин після змішування.



а)



б)



в)

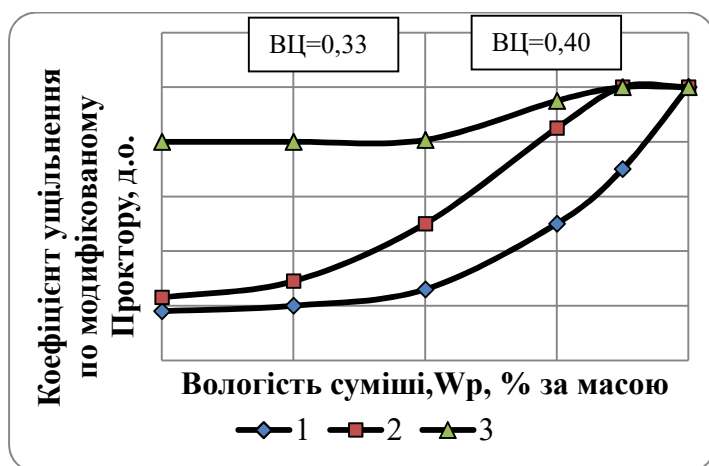


г)

Рисунок 3 – Влаштування шару із укоченого бетону: а) вивантаження бетону на будівельній ділянці; б) розподілення суміші асфальтоукладачами; в) укочення бетону котками; г) догляд за УЦБ  
Figure 3 - Arrangement of a layer of RCC: a) unloading of concrete on the construction site; b) distribution of the mixture by asphalt pavers; c) rolling of concrete by rollers; d) care for UB

Укочений бетон укладають дорожніми укладальними машинами, оснащеними брусом з високим ступенем стиску й автоматикою вирівнювання. Чим вище ступінь ущільнення укладальника, тем рівніша виходить поверхня. ступінь ущільнення, що досягається за допомогою укладальника, не повинна бути нижче 93 %.

**Способи ущільнення укоченого бетону.** Укочений бетон укладають дорожніми укладальними машинами, оснащеними брусом з високим ступенем стиску й автоматикою вирівнювання. Чим вище ступінь ущільнення укладальника, тем рівніша виходить поверхня. ступінь ущільнення, що досягається за допомогою укладальника, не повинна бути нижче 93 %. Остаточне ущільнення укоченого бетону мінімум до 96 % модифікованої щільності по Проктору виконується гладким котком вагою  $\geq 8$  т, спочатку у два проходи без вібрації, а потім у кілька проходів з вібрацією. Цей каток повинен рухатися відразу після укладальника й не залишати видимих слідів. Під час прокатки необхідний ступінь ущільнення слід постійно перевіряти (рис. 4).



1. Укладка та ущільнення асфальтоукладачем TITAN 410S виробника АВГ з брусом високого ущільнення
  2. 6 проходів 17 – тонним пневмокатком, тиск на обод колеса 8 бар
  3. 2 статичних проходи і 4 проходи 10 – тонного віброкатка
- При  $W_p=6\%$  дуже волога суміш, що має слабку стійкість до навантаження

Рисунок 4 - Результати ущільнення укоченного бетону із суміші гравію, дрібного щебеню і піску 0/22 мм

Figure 4 - The results of compaction of roller-compacted concrete from a mixture of gravel, fine gravel and sand 0/22 mm

#### Схема прокатки при укладанні в кілька смуг (рис. 5).

По укоченому бетону можна їздити ще у свіже укладеному стані. У зв'язку із цим він особливо придатний для опоряджувальних робіт і зміцнення існуючих автомобільних доріг саме в тих місцях, де необхідний швидкий запуск транспорту або зміна напрямку руху на час будівництва неможлива.

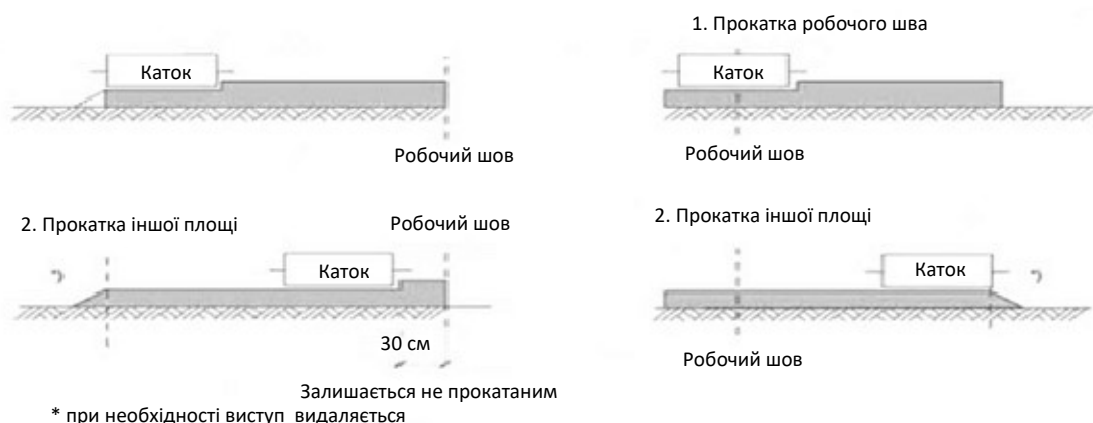


Рисунок 5 - Схема прокатки УЦБ при укладанні в кілька смуг

Figure 5 - Scheme of rolling roller-compacted concrete when laying in several strips

**Догляд за укоченим бетоном.** Через незначний вміст води в суміші укоченного бетону потрібна ретельна обробка водою. При цьому необхідно переконаватися, що в'язуча речовина повністю розчинилася у воді.

Дану обробку слід починати безпосередньо після укочення. Щоб уникнути вимивання з поверхні свіжого укоченного бетону важливо спочатку розприскувати воду тонким струменем.

Поверхня повинна піддаватися вологій обробці не менше 3 днів.

Для швидкого запуску транспорту укочений бетон може обприскуватися аніонною бітумною емульсією (з розрахунку 600-800 г/м<sup>2</sup>). Якщо по обробленому в такий спосіб покриттю до наступної обробки поверхні рух транспорту повинен здійснюватися протягом тривалого часу, необхідно нанесену бітумну емульсію посипати дробленим піском з розрахунку 7 л/м<sup>2</sup> і прикатати його легким катком. Початок руху транспорту вважається можливим при міцності УБ більше 30 МПа.

Укочений бетон економічний, тому що може виготовлятися з високою продуктивністю (кожний укладальник 2500 м<sup>2</sup> у день), а також з недорогих будівельних матеріалів, при виявленні істотних ознак якості стандартного бетону для дорожніх покриттів.

### **5. Будівництво та випробування дослідних ділянок в Україні**

В Україні укочений бетон перебуває в процесі вивчення і експериментального апробування.

У 1994 році на кафедрі ДБМ та хімії НТУ виконано науково-дослідні роботи за темами: "Розробка конструкції, технології та нормативної документації на будівництво дорожніх одягів з цементобетону, ущільненого катками" та "Удосконалення та впровадження технології будівництва щебеневих основ, омонолічених способом просочення цементовмісними сумішами". В рамках виконання цих робіт були розроблені рекомендації по ремонту дослідних ділянок автомобільних доріг в Чернігівській області. У вересні-жовтні 1994 року Чернігівський Облшляхбуд виконав ремонт дослідних ділянок з використанням шарів з цементобетону, ущільненого катками та щебеню, просоченого цементовмісними сумішами. На основі цих розробок у серпні-вересні 1994 р. в Чернігівській області при ремонті автомобільної дороги Левковичі-Льгов побудовані декілька дослідних ділянок.

Для перевірки правильності вибору розрахункових схем роботи конструкцій, розрахункових характеристик нових матеріалів та оцінки ефективності технології будівництва влітку 1995 р. проведені інструментальне обстеження дослідних ділянок.

Інформація, одержана при обстеженні дослідних ділянок доріг, мала би використовуватись при проектуванні, будівництві та ремонті автомобільних доріг.

Метою обстеження було:

- дослідження стану дослідних ділянок;
- оцінка міцності конструкції в розрахунковий період;
- перевірка правильності вибору розрахункових схем і міцнісних та деформаційних характеристик матеріалів дорожнього одягу.

Перед початком випробувань дорожнього одягу вивчались [12]:

- поздовжній профіль і план траси;
- особливості будівництва дороги, включаючи погодно-кліматичні умови під час влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу, технологія виконання робіт;
- дані про час проведення ремонтних робіт, про види ремонтів і стан дорожнього одягу перед ремонтом;
- дані про склад і інтенсивність руху за період експлуатації дороги.

Після цього візуально оцінювався стан дорожнього одягу, поверхневий стік і відповідність земляного полотна вимогам будівельних норм.

**Обладнання для випробування одягу.** Випробування проводились методом статичного навантаження колесом автомобіля групи А (ЗИЛ-ММЗ 45065, N 96-67 ЧНП Чернігівського РайДРБУ):

- загальна вага автомобіля - 14,170 т; - навантаження на задню вісь - 11,370 т;
- навантаження на передню вісь - 3,120 т; - тиск повітря в задніх колесах - по 5,0 атм;
- діаметр круга рівновеликого по площі відбитку заднього колеса автомобіля - 42 см.

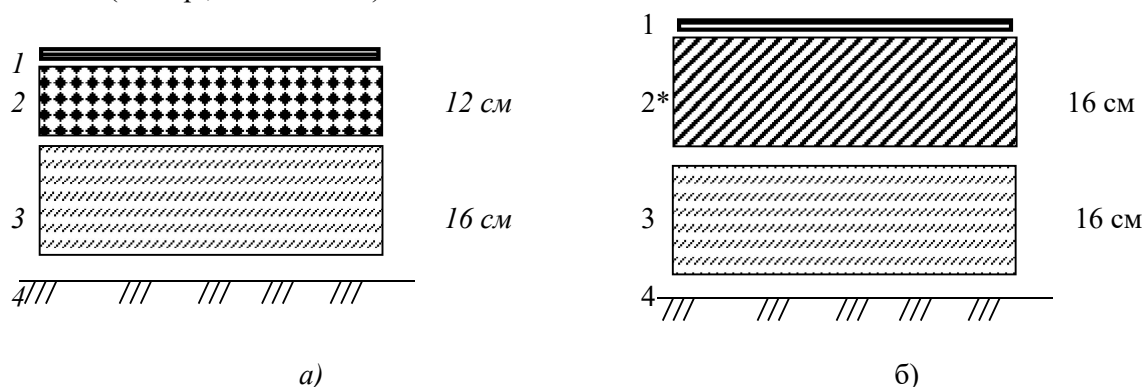
Для замірювання пружного прогину поверхні покриття використовувався важільний прогиномір (балка Бенкельмана) конструкції КП-204 з індикатором годинникового типу.

**Методика випробувань.** Прогин поверхні замірювався під лівим заднім колесом автомобіля, яке розміщувалось на віддалі 1 м від лівої кромки проїжджої частини. Наконечник прогиноміра встановлювався між двома балонами колеса приблизно по центру чаші прогину. Станина приладу вивірялась в горизонтальній площині після чого знімався перший відлік по індикатору. Після від'їзду автомобіля, коли пружна частина прогину відновлювалась (приблизно 1 хв), знімався другий відлік по індикатору. Різниця цих відліків показувала величину пружного прогину поверхні покриття.

**Експериментальні дані.** Об'єкт: автомобільна дорога Левковичі-Льгов, Чернігівська обл. Категорія дороги: IV. Дата обстеження: 19.04.1995 р. Погода: хмарно, сирі, температура повітря + 11 °С; 16-18.04.1995 р. були опади у вигляді дощу.

Ділянка № 1 (ПК0+00-ПК9+00) - капітальний ремонт виконувався у 1994 р.; верхній шар дорожнього одягу - щебінь просочений піскоцементною сумішшю (рис. 6).

Ділянка № 2 із покриттям з уложеного цементобетону товщиною 16 см (1994р.). Ділянка № 2 - просочування щебеню ЦВС на глибину 12 см (1994р.) Для порівняння випробувано дорожній одяг із щебеню просоченого 8см бітумом (1985-87рр) (ділянка № 4) та з асфальтобетонним покриттям товщиною 5 см (1984 р., ділянка № 5).



1 - подвійна поверхнева обробка; 2 - щебінь просочений цементоводною суспензією (ЦВС) або піскоцементною сумішшю (ПЦС),  $E_{щ}=450$  МПа; 2\* - цементобетон ущільнений котками класу міцності  $B_{btb}$  2,0 марки за морозостійкістю F75;  $E_{зг}=20000$  МПа,  $E_{зс}=1140$  МПа,  $R_{зг}=2,5$  МПа; 3 - ґрунт, укріплений дьогтем,  $E_d=160$  МПа; 4 - ґрунт земляного полотна - пісок пилюватий,  $E_{гр}=72$  МПа,  $\phi=36$ ,  $C=0,014$  МПа.

Примітка: Конструкція підсилення дорожнього одягу розраховувалась на інтенсивність руху 150 од/добу.

Рисунок 6 - Конструкція дорожнього одягу, що ремонтується: а) із ЦВС; б) з уложеного цементобетону

Figure 6 - Construction of repaired pavement: a) with CWS; b) from roller-compacted concrete

**Обробка експериментальних даних.** Після отримання експериментальних даних з метою виявлення грубих помилок робилась очистка статистичного ряду з надійністю 0,90 за відомими формулами [2, 3].

На основі очищених статистичних даних обраховувались дійсні значення величин (рис. 7).

Загальний модуль пружності дорожнього одягу, що випробовується за допомогою здвоєного колеса автомобіля, знаходиться за формулою [12]:

$$E_y = (1 - \mu^2)P / (0,4\pi \cdot l \cdot D), \quad (13)$$

- де  $P$  — загальне навантаження на колесо;  
 $\mu$  — коефіцієнт Пуассона, приймається рівним 0,30  
 $l$  — пружний прогин конструкції між балонами колеса;  
 $D$  — діаметр умовного круглого гнучкого штампа, що передає навантаження на покриття, рівний 0,42 м.

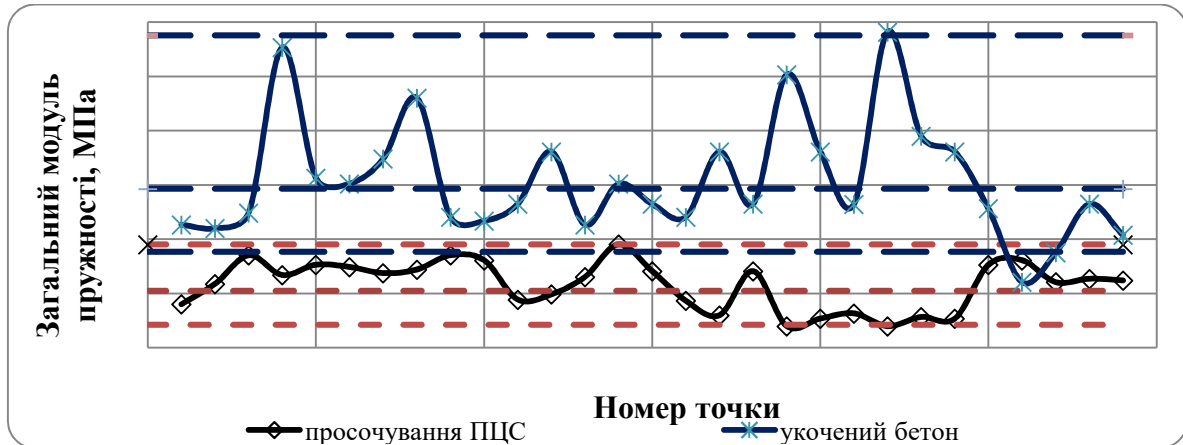


Рисунок 7 – Порівняння даних випробувань дорожнього одягу з покриттям із щебеню просоченого ПЦС та укоченого бетону

Figure 7 - Comparison of test data of pavement with gravel coating impregnated sand-cement mixture and roller-compacted concrete

У табл. 2 наведено аналіз результатів випробувань та визначення модуля пружності матеріалу покриття дорожнього одягу.

Таблиця 2 – Результати випробувань та визначення модуля пружності матеріалу покриття дорожнього одягу

Table 2 - Test results and determination of the modulus of elasticity of the pavement material

| № ділянки | Матеріал верхнього шару дорожнього одягу  | Прогин поверхні l, мм | Коеф. варіації прогину % | Загальний модуль пружності дорожнього одягу Езаг, МПа |     |     | Вологість ґрунту на узбіччі, W, % | Модуль пружн. покриття, Е <sub>1</sub> , МПа |
|-----------|-------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------|----------------------------------------------|
|           |                                           |                       |                          | мін                                                   | ср  | мах |                                   |                                              |
| 1         | Просочування (12 см) щебеню ПЦС (1994 р.) | 0,76±0,34             | 21,98                    | 142                                                   | 205 | 366 | 16,0±3,8                          | 1 750                                        |
| 2         | Укочений 16 см цементобетон (1994р.)      | 0,40±0,17             | 21,60                    | 275                                                   | 394 | 693 | 15,9±4,4                          | 8 100                                        |
| 3         | Просочування (12 см) щебеню ЦВС (1994р.)  | 0,43±0,20             | 23,54                    | 247                                                   | 363 | 686 | 16,2±2,7                          | 14 000                                       |
| 4         | Щебінь просочений 8см бітумом (1985-87рр) | 0,86±0,26             | 15,00                    | 140                                                   | 182 | 260 | 15,7±4,7                          | 1 500                                        |
| 5         | Асфальтобетон (5 см) 1984 р.)             | 0,99±0,26             | 13,38                    | 126                                                   | 159 | 217 | 15,9±0,8                          | 2 000                                        |

Модуль пружності верхнього шару дорожнього одягу (табл. 1) для ділянок 1-5 перевірявся за точним рішенням теорії пружності за програмою "LESY\_NDC", яка реалізує точне рішення теорії пружності та номограмами ГБН. Порівняння результатів досліджень і розрахунків показали достатню схожість теоретично встановлених і фактичних значень модулів пружності шарів дорожнього одягу, які оброблені піскоцементною сумішшю а також шарів із укоченого цементобетону. Модуль пружності шару щебеню, обробленого водоцементною суспензією (ділянка 3), має великий розкид значень, що свідчить про недосконалість запропонованої технології спорудження щебених шарів, просочених ЦВС.

На всіх дослідних ділянках влаштовувалась двійна поверхнева обробка яка має добре щеплення з щебеним покриттям, влаштованим за методами просочення (ділянки 1 і 3), і дещо гірше зчеплення з шаром укоченого цементобетону (ділянка 2).

**Висновки.** Покриття із укоченого бетону побудовані в 1986 р. в Чернігівській обл. в рамках програми Цемент. Керівник роботи - Борисенко А.А. Випробування показали, що модуль пружності на поверхні шару 16 см становив в середньому 394 МПа. Для забезпечення морозостійкості поверх шару свіжого бетону влаштована двійна поверхнева обробка. Покриття прослужило 25 років та в 2020 р. виконано капітальний ремонт.

На основі виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Використання піскоцементних сумішей для укріплення верхньої частини щебеневого шару є ефективним засобом підвищення його міцності та зсувостійкості. Заповнення пор верхньої частини щебеневого шару ПЦС збільшує у 3-4 рази модуль пружності, знижує залишкові деформації та надає йому жорсткість.

2. Укочений цементобетон - достатньо міцний та довговічний конструктивний шар дорожнього одягу, міцність якого наближається до монолітного цементобетону.

3. Дослідно-експериментальна перевірка конструкції, технології та засобів механізації показали, що розроблені методики влаштування щебеневих шарів просоченням ПЦС і укоченого цементобетону можна рекомендувати для спорудження дорожнього одягу автомобільних доріг.

4. Просочування щебеню цементоводною суспензією дає достатню міцність конструктивного шару, але великий розкид значень модуля пружності, що, очевидно, відбувається через недосконалість технології приготування. Тому запропоновану технологію необхідно доопрацювати.

#### Перелік посилань

1. ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee 325. – 32 p.
2. ACI 309.5R-00 (Reapproved 2006). Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309. – 19 p.
3. ACI 327R-14 (Reapproved 2015). Guide of Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee. – 55 p.
4. Петрович П.П., Дмитричев А.В. Современное состояние и перспективы применения технологии укочуемого бетона. Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. 6-2004. – 87 с.
5. Rst 01 Норми по стандартизації верхньої конструкції доріг загального користування, видання 2001 року.
6. RLW 1999 Норми по будівництву сільських доріг, видання 1999 року.
7. ZTV T-stb 95 Додаткові технічні договірні умови й норми по виготовленню несних шарів у дорожньому будівництві, видання 1995 року в редакції 1998.
8. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements (2004). Portland Cement Association.
9. Р В.2.7-02071168-870: 2016 Рекомендації щодо приготування пісних cemento-бетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону.
10. ТК 37641918/02071168-198:2016 Типова технологічна карта на влаштування шару основи дорожнього одягу із пісного укочуваного цементобетону.
11. ТУ У 42.1-25422297-055:2016 Суміші бетонні жорсткі з добавкою «FSP» для улаштування шарів дорожнього одягу. Технічні умови.
12. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. - М.: Транспорт, 1985. - 157 с.
13. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. -М.: "Наука", 1970.-104 с.
14. Вентцель Е.С. Теория вероятностей, - М.: "Физматгиз", 1962. - 564 с.

## EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF ROLLED CEMENT CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION

**Gameliak Ihor P.**, Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of Airports Department, e-mail: gip65n@gmail.com, тел. +380503524124, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

**Ostroverkhyy Oleg Grigorovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of «Airports», National Transport University, e-mail: [oostroverkhyy@gmail.com](mailto:oostroverkhyy@gmail.com), +380974848976, id ORCID 0000-0003-2182-2209.

**Dmytrychenko Andij Mykolayovich**, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

**Annotation.** The article is devoted to the selection of the composition of the cement-concrete mixture and the determination of the general modulus of elasticity of the pavement made of hardened cement concrete for paving and foundation of roads, parking lots and hydraulic structures with high load-bearing capacity.

The object of research is the processes of composition design and ensuring the strength and load-bearing capacity of hardened cement concrete.

The purpose of the work is to design the composition of hardened concrete by the method of maximum compaction (Proctor) and the selection of the composition and features of the technology of layers. Determination of the total modulus of elasticity and modulus of elasticity of the material according to the determination of the deflection of the Benkelman beam.

Research methods - scientific and experimental.

The results of the article can be used in the operation of road and airfield clothing in coatings and bases to increase the load-bearing capacity and durability of roads.

**Key words:** roller-compacted concrete, composition design, general modulus of elasticity, modulus of elasticity of material, bearing capacity.

### References

1. ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee 325. – 32 p.
2. ACI 309.5R-00 (Reapproved 2006). Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309. – 19 p.
3. ACI 327R-14 (Reapproved 2015). Guide of Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee. – 55 p.
4. Petrovych P.P., Dmytrychev A.V. Sovremennoe sostoianye y perspektivy pryumeneniya tekhnolohy ukatываемого бетона. Obzornaia ynformatsiia. Avtomobylnye dorohy y mosty. 6-2004. – 87s.
5. Rsto 01 Normy po standartyzatsii verkhnoi konstruktsii dorih zahalnoho korystuvannia, vydannia 2001.
6. RLW 1999 Normy po budivnytstvu silskykh dorih, vydannia 1999 roku.
7. ZTV T-stb 95 Dodatkovy tekhnichni dohovirni umovy y normy po vyhotovlenni nesnykh shariv u dorozhnomu budivnytstvi, vydannia 1995 roku v redaktsii 1998/
8. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements (2004). Portland Cement Association.
9. R V.2.7-02071168-870: 2016 Rekomendatsii shchodo pryhotuvannia pisnykh tsemento-betonnykh sumishei ta vlashtuvannia osnov dorozhnykh odiahiv iz pisnoho ukochuvanoho tsementobetonu.
10. TK 37641918/02071168-198:2016 Typova tekhnolohichna karta na vlashtuvannia sharu osnovy dorozhnoho odiahu iz pisnoho ukochuvanoho tsementobetonu.
11. TU U 42.1-25422297-055:2016 Sumishi betonni zhorstki z dobavkoiu «FSP» dlia ulashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu. Tekhnichni umovy.
12. Ynstruktsiia po proektyrovanyi dorozhnykh odezhd nezhestkoho typu. VSN 46-83. - M.: Transport, 1985. - 157 s.
13. Kassandrova O.N., Lebedev V.V. Obrabotka rezultatov nabliudenyi. -M.: "Nauka", 1970.- 104 s.
14. Venttsel E.S. Teoriia veroiatnostei, - M.: "Fyzmathyz", 1962. - 564 s.

## ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

### INVESTMENT POTENTIAL OF THE CONSTRUCTION ORGANIZATION



**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>



**Кас'ків Володимир Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ДП "ДерждорНДІ", e-mail: vi\_kas@ukr.net, тел. +380504458544, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 57

<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/0000-0003-1643-6354>



**Курська Тетяна Миколаївна**, кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, e-mail: tkurskaya67@gmail.com, тел. +30671447005

<https://orcid.org/0000-0001-6377-9240>

**Анотація.** Статтю присвячено питанням оцінки інвестиційного потенціалу будівельних організацій, що займаються інвестиційною діяльністю, та формуванню раціонального "інвестиційного портфеля". Запропоновані: методика оцінки інвестиційного потенціалу будівельних організацій з метою формування раціонального "портфеля інвестицій"; механізм ранжування та вибору напрямків інвестиційної діяльності на основі імовірнісних вагових експертних оцінок параметрів інвестицій; імітаційна модель діяльності економічних служб будівельних організацій при формуванні "портфеля інвестицій"; алгоритм формування "портфеля інвестицій" з урахуванням ступеня ризику (його співвідношення з прибутковістю) та можливостей підприємства, висока ефективність якого обґрунтована теоретично і підтверджена практично.

**Ключові слова:** будівельна організація, джерела фінансування, інвестиційний потенціал, "портфель інвестицій", ризик "інвестиційного портфеля".

**Постановка проблеми.** У теперішній час спостерігається різке зниження інвестиційного попиту підприємств і, насамперед, на реальні інвестиції за допомогою яких можна забезпечити структурну перебудову народного господарства, науково-технічний прогрес і рішучий підйом економіки держави.

Основна маса інвестицій, що здійснюються за рахунок власних коштів підприємств – це інвестиції з фонду відшкодування, які спрямовуються на підтримку діючих потужностей. Більшість

підприємств не мають можливості створювати нові потужності, реконструювати і розширювати виробництво, оскільки весь прибуток йде у фонд споживання.

Для збільшення власної інвестиційної активності як державних підприємств, так і незалежних інвесторів, виникає необхідність відновлення знеціненого інфляцією інвестиційного потенціалу підприємств. З цією метою необхідно, насамперед, підвищити роль власних джерел фінансування інвестиційних засобів підприємств: амортизації і прибутку, що залишається в розпорядженні підприємства.

Одним з першочергових завдань, поставлених Урядом України, є зменшення обсягу вилучення коштів (зокрема прибутку) і нова амортизаційна політика. Проте прибутком і амортизацією джерела коштів підприємств не обмежуються. Для інвестиційних потреб можуть використовуватися довгострокові кредити. Структура джерел фінансування підприємств залежить від форм власності і форм господарювання. З появою нових форм господарювання у суб'єктів підприємницької діяльності з'являються нові можливості залучення додаткових коштів.

**Мета і завдання роботи.** Головною метою роботи є розробка методів формування "портфеля інвестицій" будівельних організацій в умовах становлення ринкової економіки.

Відповідно до мети треба вирішити такі завдання:

- розробка методики визначення інвестиційного потенціалу будівельної організації, що займається інвестиційною діяльністю;
- економічне обґрунтування вибору стратегічних напрямків інвестиційної діяльності будівельної організації;
- побудова алгоритму оцінки та вибору варіанта "інвестиційного портфеля" з урахуванням інвестиційного потенціалу будівельної організації;
- побудова імітаційної моделі діяльності економічних служб будівельних організацій при формуванні "портфеля інвестицій".

**Об'єктом і предметом дослідження** є інвестиційна діяльність будівельних організацій та раціональні форми її здійснення.

**Викладення основного матеріалу.** Аналіз існуючих підходів до формування "інвестиційного портфеля" та аналіз діяльності будівельних організацій в умовах ринкової економіки, поданих у працях провідних вітчизняних та зарубіжних інвестознавців дозволив сформулювати основні вимоги до "інвестиційного портфеля" будівельної організації:

- високий темп зростання капіталу;
- високий темп зростання прибутку;
- достатня ліквідність "інвестиційного портфеля";
- мінімізація інвестиційних ризиків.

Основним етапом формування інвестиційного портфеля є визначення інвестиційного потенціалу підприємства.

Інвестиційний потенціал – це прогнозована з високим ступенем достовірності спроможність будівельної організації до створення будівельної продукції та втілення інвестиційних проектів з урахуванням умов, що склалися на ринковому середовищі, охопленому будівельною організацією.

При визначенні потенціалу підприємства найбільш точними джерелами інформації є показник рентабельності власного капіталу та коефіцієнт реінвестування прибутку. Залежність (1) між коефіцієнтом реінвестування прибутку і чинниками, що визначають рентабельність власного капіталу дозволяє визначити, який відсоток прибутку може бути реінвестований без зміни сформованих показників фінансового стану підприємства:

$$Y_1 = 1,837 \cdot X_1 + 0,0593 \cdot X_2 + 0,0728 \cdot X_3 - 0,0159, \quad (1)$$

де  $Y_1$  – коефіцієнт реінвестування прибутку;

$X_1$  – рентабельність продукції;

$X_2$  – коефіцієнт фінансової залежності;

$X_3$  – ресурсовіддача.

Крім прибутку та амортизації, додатковим джерелом фінансування інвестиційних проектів можуть стати власні активи підприємства, точніше їх спроможність бути ліквідними. При аналізі економічного потенціалу будівельних фірм був встановлений взаємозв'язок (2) між розміром коефіцієнта покриття і необхідністю збільшення частки мобільних засобів у загальному обсязі активів (рис. 1).

$$Y_2 = 0,557 - 0,0557 \cdot e^{-X_4}, \quad (2)$$

де  $Y_2$  – зростання частки мобільних засобів;

$X_4$  – коефіцієнт покриття.

Крім власних джерел для фінансування "інвестиційного портфеля", можливе використання залучених засобів. Але вони є причиною ослаблення менеджменту, обмеження самостійності, можливої втрати приватної власності і залежності (боргової) від кредиторів. Проте, при раціональному їх використанні фінансове положення підприємства буде стабільним, а інвестиційний потенціал буде зростати.

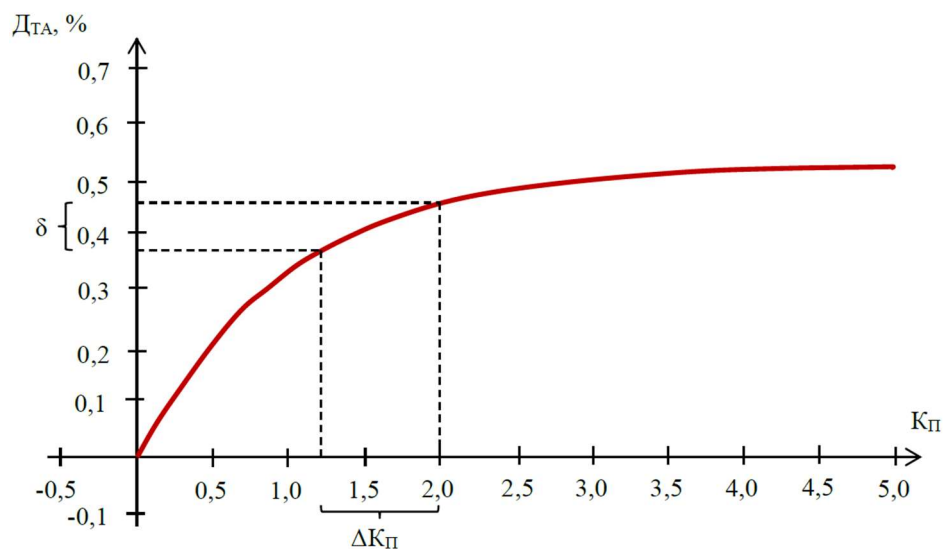


Рисунок 1 – Вплив коефіцієнта покриття на необхідність збільшення частки мобільних засобів у загальному обсязі активів (підвищення ліквідності активів)

Figure 1 – Influence of the coverage ratio on the need to increase the share of mobile assets in total assets (increase in asset liquidity)

У нинішніх умовах дефіциту державного бюджету банківські кредити стають основним зовнішнім джерелом фінансування. Проте, використання банківських кредитів також пов'язано з низкою труднощів. Одержати довгостроковий кредит для реалізації "інвестиційного портфелю", будівельна організація може лише у випадку, якщо вона буде мати стабільне фінансове положення, мінімальний ризик "портфелю інвестицій" та високу його прибутковість.

У ході аналізу виявилось, що крім показників фінансового стану на розмір банківських кредитів впливає питома вага існуючого позикового капіталу в загальному обсязі джерел засобів підприємства. У залежності від цього показника можна умовно згрупувати позичальників у такий спосіб (табл. 1).

Таблиця 1 – Групи позичальників

Table 1 – Groups of borrowers

| Група | Питома вага існуючого позикового капіталу в загальному обсязі джерел засобів підприємства |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 5-20 %                                                                                    |
| 2     | 21-40 %                                                                                   |
| 3     | 41-50 %                                                                                   |
| 4     | 51-70 %                                                                                   |

Можливість одержання банківських кредитів була досліджена за допомогою кореляційного аналізу в залежності від таких показників платоспроможності:

- коефіцієнта абсолютної ліквідності;
- коефіцієнта покриття;
- коефіцієнта швидкої платоспроможності.

Для визначення залежності зміни розміру позикового капіталу  $Y_3$  від коефіцієнта абсолютної ліквідності  $X_5$  рівняння кореляції в загальному вигляді можна записати так:

$$Y_3 = A_1 \cdot X_5^2 + B_1 \cdot X_5 + C_1. \quad (3)$$

У ході розрахунку були одержані такі коефіцієнти рівняння (табл. 2).

Таблиця 2 – Коефіцієнти рівняння кореляції  
Table 2 – Coefficients of the correlation equation

| № Групи | $A_1$   | $B_1$    | $C_1$  |
|---------|---------|----------|--------|
| 1       | 508,790 | -143,470 | 10,150 |
| 2       | 223,770 | -57,000  | 2,800  |
| 3       | 152,897 | -57,288  | 5,434  |
| 4       | 149,918 | -95,330  | 14,897 |

Рівняння залежності зміни розміру позикового капіталу ( $Y_3$ ) від коефіцієнта покриття ( $X_6$ ) має вигляд:

$$Y_3 = A_2 \cdot X_6^3 + B_2 \cdot X_6^2 + C_2 \cdot X_6 + D_2. \quad (4)$$

Значення коефіцієнтів даного рівняння наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів рівняння залежності можливості зміни розміру позикового капіталу від коефіцієнта покриття

Table 3 – The value of the coefficients of the equation of the dependence of the possibility of changing the size of borrowed capital on the coverage ratio

| № Групи | $A_2$   | $B_2$  | $C_2$  | $D_2$   |
|---------|---------|--------|--------|---------|
| 1       | -2,596  | 11,086 | 1,805  |         |
| 2       | -0,585  | 1,640  | 12,996 | -15,555 |
| 3       | -0,998  | 6,377  | -1,750 | -8,029  |
| 4       | -0,0717 | -2,634 | 23,266 | -35,909 |

Загальний вигляд рівняння залежності зміни величини позикового капіталу ( $Y_3$ ) від коефіцієнта швидкої платоспроможності ( $X_7$ ):

$$Y_3 = A_3 \cdot e^{-X_7} + B_3. \quad (5)$$

Значення коефіцієнтів рівняння (5) наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів рівняння залежності можливості зміни величини позикового капіталу від коефіцієнта швидкої платоспроможності

Table 4 – The value of the coefficients of the equation of the dependence of the possibility of changing the amount of borrowed capital on the coefficient of rapid solvency

| № групи | $A_3$   | $B_3$  |
|---------|---------|--------|
| 1       | -45,20  | 27,875 |
| 2       | -62,32  | 25,520 |
| 3       | -104,20 | 24,690 |
| 4       | -167,72 | 20,410 |

Графіки рівнянь (3)-(5) наведені на рис. 2 (а, б, в).

Узагальнюючи аналіз вихідних даних можна скласти рівняння множинної лінійної залежності (6) зміни величини позикового капіталу від показників платоспроможності.

У загальному вигляді рівняння має вигляд:

$$Y_3 = A_4 \cdot X_5 + B_4 \cdot X_6 + C_4 \cdot X_1 + D_4, \quad (6)$$

де  $A_4, B_4, C_4$  – коефіцієнти рівняння (табл. 5);  
 $D_4$  – постійна;  
 $X_5$  – коефіцієнт абсолютної ліквідності;  
 $X_6$  – коефіцієнт покриття;  
 $X_1$  – коефіцієнт швидкої платоспроможності

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів рівняння залежності можливості зміни розміру позикового капіталу від коефіцієнта покриття

Table 5 – The value of the coefficients of the equation of the dependence of the possibility of changing the size of borrowed capital on the coverage ratio

| № групи | $A_4$   | $B_4$  | $C_4$ | $D_4$   |
|---------|---------|--------|-------|---------|
| 1       | 106,830 | -2,016 | 3,986 | -20,122 |
| 2       | 60,738  | -1,035 | 4,823 | -15,565 |
| 3       | 29,852  | 1,554  | 4,788 | -16,650 |
| 4       | 10,609  | 6,355  | 5,158 | -28,235 |

Ще одним джерелом фінансування може бути залучення додаткового акціонерного капіталу. Але воно є найменш привабливим для підприємства-інвестора. І незважаючи на це, залучення додаткового акціонерного капіталу треба розглядати як потенційне джерело фінансування.

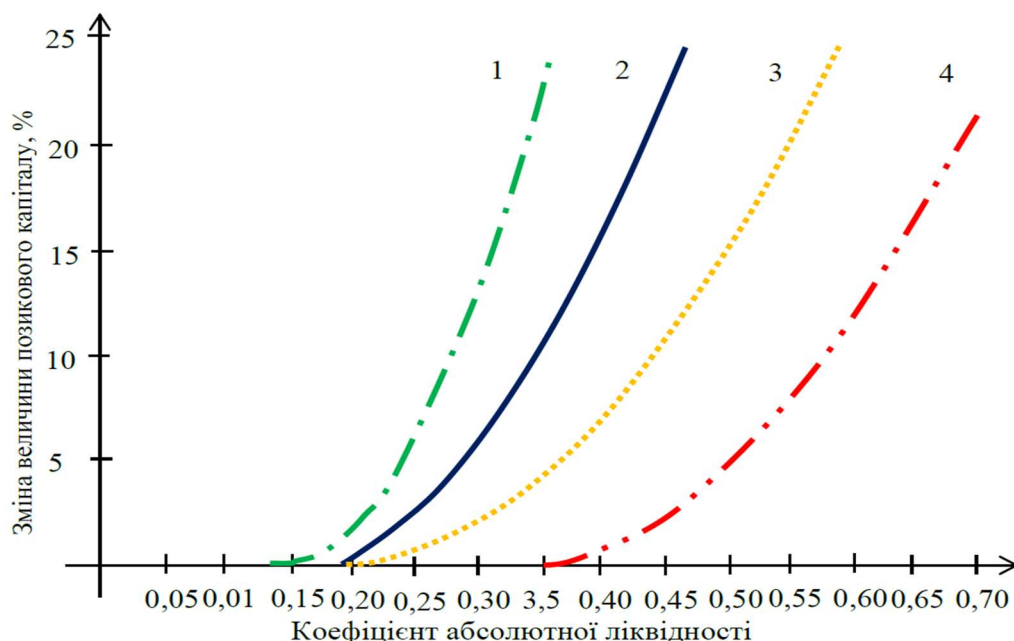


Рисунок 2а – Можливість зміни величини позикового капіталу від коефіцієнта абсолютної ліквідності

Figure 2a – Ability to change the amount of borrowed capital from the absolute liquidity ratio

Приймаючи рішення про залучення додаткового акціонерного капіталу, варто знати, яким має бути рівень прибутку на акціонерний капітал і рентабельність власного капіталу, щоб можна було здійснити емісію акцій.

У результаті аналізу були виведені залежності впливу показників прибутковості акціонерного капіталу (рис. 3) і рентабельності власного капіталу (рис. 4) на розмір можливої зміни власного капіталу, або іншими словами: при якому рівні прибутковості акцій і рентабельності власного капіталу акціонери погодяться на його збільшення.

Як показали дослідження, рішення про емісію акцій залежить також від ступеню ризику "портфеля інвестицій" (системного і диверсифікаційного). Чим вищий ступінь ризику, тим більш високими

повинні бути показники виплати дивідендів і читабельності для збільшення власного капіталу на відповідну величину.

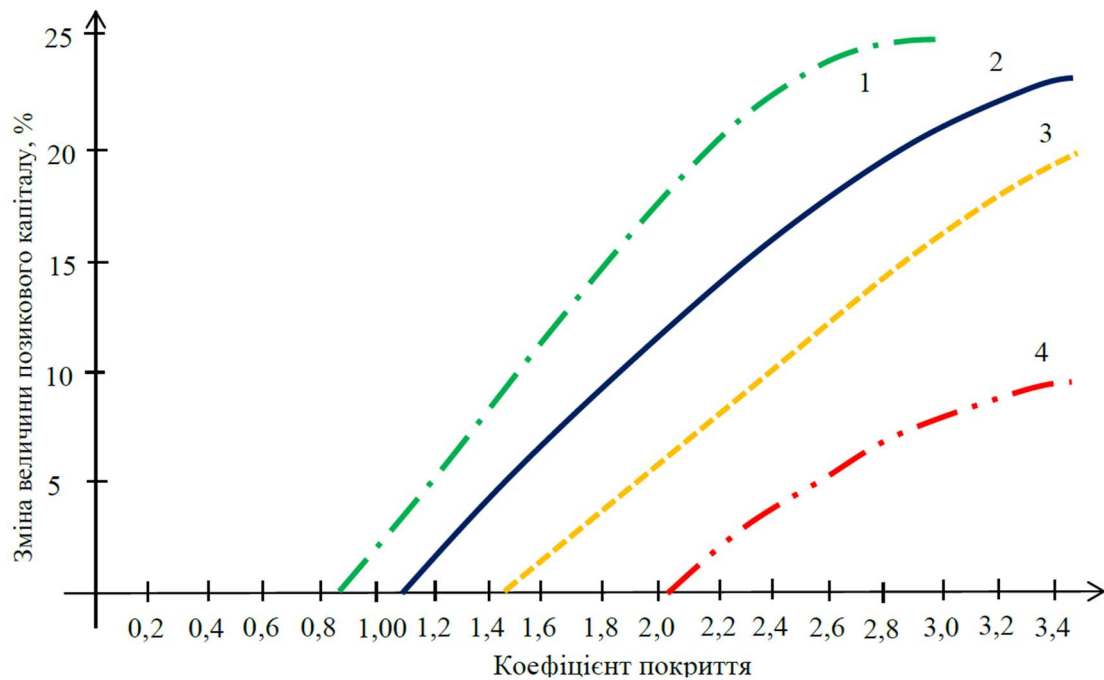


Рисунок 2б – Можливість зміни величини позикового капіталу від коефіцієнта покриття  
 Figure 2b – Ability to change the amount of borrowed capital from the coverage ratio

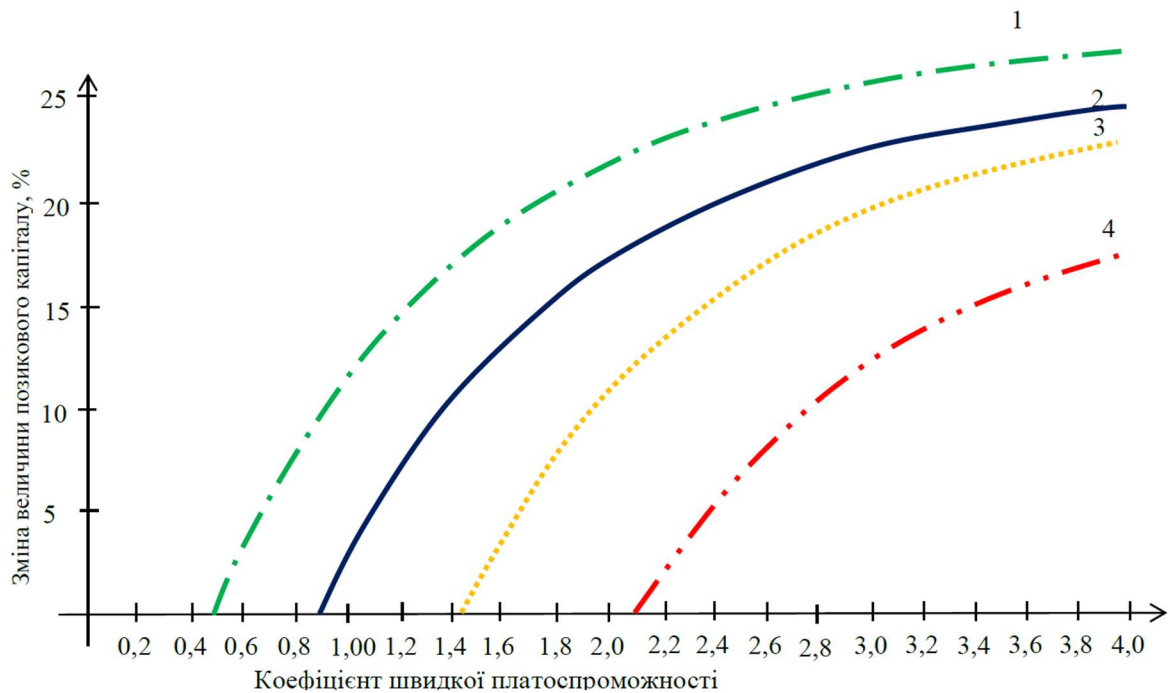


Рисунок 2в – Можливість зміни величини позикового капіталу від коефіцієнта швидкої платоспроможності  
 Figure 2v – Ability to change the amount of borrowed capital from the ratio of rapid solvency

Рівняння залежності впливу прибутковості акцій ( $X_8$ ) на можливість зміни величини власного капіталу ( $Y_4$ ) має вигляд:

$$Y_4 = A_5 \cdot X_8^2 + B_5 \cdot X_8 + C_5, \quad (7)$$

де  $A_5, B_5$  – коефіцієнти рівняння;

$C_5$  – вільний член.

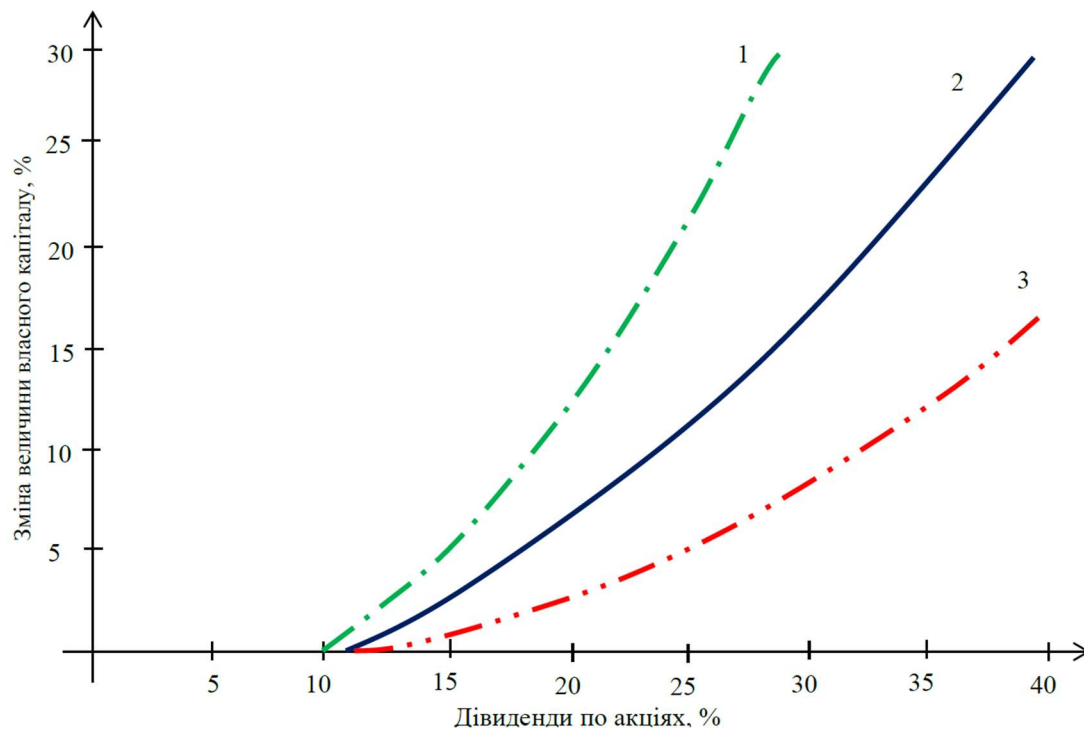


Рисунок 3 – Вплив прибутковості акціонерного капіталу на можливість зміни величини власного капіталу

Figure 3 – The impact of return on equity on the ability to change the amount of equity

Значення коефіцієнтів рівняння (7) наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Значення коефіцієнтів рівняння залежності впливу прибутковості акцій на можливість зміни величини власного капіталу

Table 6 – The value of the coefficients of the equation of the dependence of the impact of stock returns on the possibility of changing the amount of equity

| Рівень ризику | $A_5$  | $B_5$  | $C_5$  |
|---------------|--------|--------|--------|
| Низький (1)   | 0,0420 | -0,053 | -3,400 |
| Середній (2)  | 0,0175 | 0,158  | -3,420 |
| Високий (3)   | 0,0146 | -0,156 | -0,047 |

Рівняння залежності зміни величини власного капіталу ( $Y_4$ ) від рівня рентабельності ( $X_9$ ) має вигляд:

$$Y_4 = A_6 \cdot X_9 + B_6, \quad (8)$$

де  $A_6$  – коефіцієнти рівняння;

$B_6$  – вільний член.

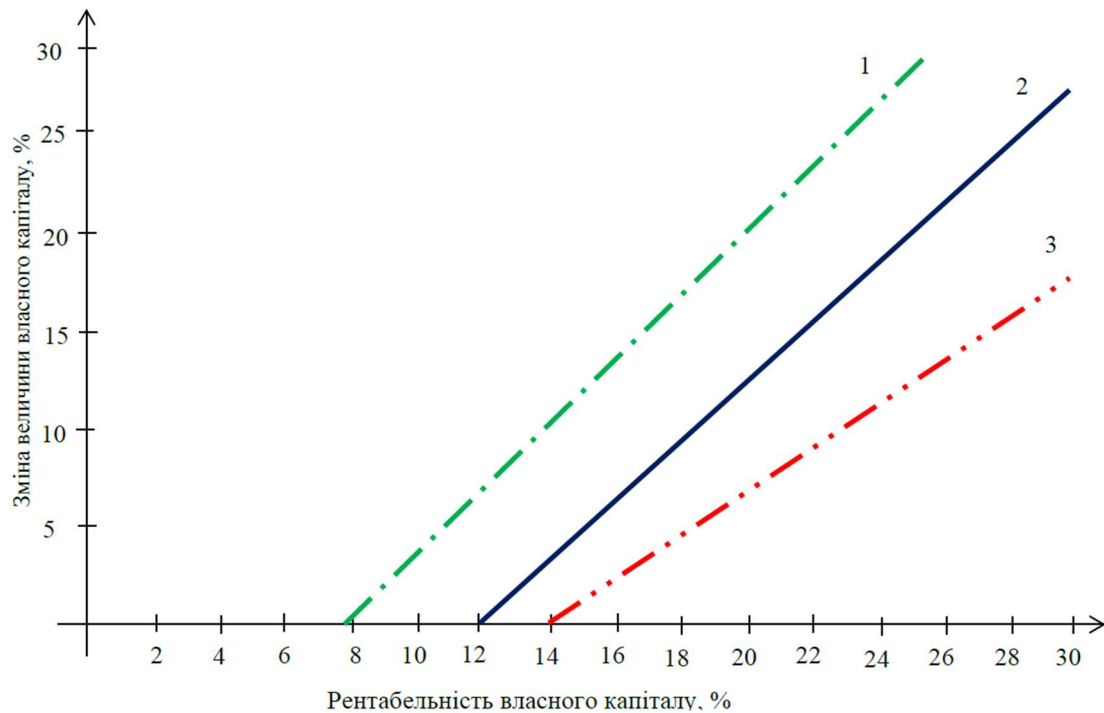


Рисунок 4 – Вплив рентабельності власного капіталу на можливість зміни величини власного капіталу

Figure 4 – The impact of return on equity on the ability to change the amount of equity

Значення коефіцієнтів рівняння наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Значення коефіцієнтів рівняння залежності зміни величини власного капіталу від рівня рентабельності

Table 7 – The value of the coefficients of the equation of the dependence of the change in the amount of equity on the level of profitability

| Рівень ризику | $A_6$ | $B_6$   |
|---------------|-------|---------|
| Низький (1)   | 1,684 | -13,159 |
| Середній (2)  | 1,584 | -19,584 |
| Високий (3)   | 1,124 | -15,640 |

Узагальнюючи одержані дані, можна побудувати багатофакторні рівняння залежності можливості зміни величини власного капіталу від показників рентабельності та рівня виплати дивідендів по акціях.

Для "портфеля" з низьким рівнем ризику рівняння матиме вигляд:

$$Y_4 = 1,43X_8 + 0,228X_9 - 18,936. \quad (9)$$

При середньому рівні ризику:

$$Y_4 = 0,973X_8 + 0,0998X_9 - 14,056. \quad (10)$$

При високому рівні ризику:

$$Y_4 = 0,2398X_8 + 0,749X_9 - 14,569. \quad (11)$$

Таким чином, знаючи рівень дивідендів на акціонерний капітал і розмір рентабельності власного капіталу, а також ступінь ризику "інвестиційного портфеля", можна встановити величину збільшення власного капіталу, як потенційно можливого джерела фінансування.

Виходячи з наведених міркувань, розроблено методiku формування "інвестиційного портфеля" (рис. 5).

На першому етапі формування "портфелю інвестицій" потрібно зібрати інформацію про фінансово-економічну та інвестиційну діяльність підприємства за попередні періоди.

На другому етапі виконується аналіз даних бухгалтерської звітності. Здійснюється оцінка майнового стану, ліквідності, ділової активності і показників рентабельності підприємства. Усі показники порівнюються з відповідними показниками попередніх періодів, середніми показниками по галузі і показниками, що вважаються нормальними з погляду світової практики.

Якщо значення показників задовольняють керівництво підприємства і розміри отриманого в попередні періоди прибутку задовільні, може бути прийняте рішення про формування нового "інвестиційного портфеля".

Якщо стан підприємства незадовільний, треба з'ясувати причини сформованої ситуації й усунути їх (продаж частини активів для підвищення ліквідності, підвищення рівня рентабельності за рахунок зменшення витрат, зменшення коефіцієнта фінансової залежності за рахунок зменшення частки позикових засобів, зменшення дебіторської заборгованості і термінів виплати по ній тощо).

Вибір напрямків інвестиційної діяльності пропонуємо здійснювати при послідовному використанні таких методів:

Якісний аналіз будівельними фірмами повного переліку всіх критеріїв, що треба брати до уваги при розгляді проекту.

Бальна оцінка різноманітних проектів, у тому числі в умовах невизначеності.

Економічна оцінка проектів, що включає відомі методи дисконтування грошових потоків і строку окупності вкладень.

Прийнявши рішення про формування "інвестиційного портфеля", треба визначити стратегічні напрямки інвестиційної діяльності і намітити можливі проекти для реалізації. Попередній добір проектів здійснюється за допомогою переліку оцінних показників. Відбираються проекти, спрямованість яких збігається з загальними стратегічними цілями підприємства.

Послідовно по всіх  $i$ -тих типах проектів виконується кількісна оцінка попередньо відібраних проектів за переліком критеріїв, найбільш важливих для даною підприємства. Потім визначається рангова значимість проектів за результатами бальної оцінки. Проекти з меншою ранговою значимістю відбираються для наступного їхнього аналізу. Проекти, рангова значимість яких не задовольняє інвестора, відхиляються.

На наступному етапі визначаються показники економічної ефективності відібраних проектів із використанням методів: NPV, IR, IRR, термін окупності. Складається порівняльна таблиця основних показників ефективності проектів і визначається ранг проекту в загальній системі показників. Вибираються проекти, які можна включити в "інвестиційний портфель".

На заключному етапі здійснюється аналіз ризику і прибутковості "портфеля інвестицій" в цілому. Визначається очікуваний прибуток  $\mu_p$  і стандартне відхилення прибутковості "портфеля інвестицій"  $\sigma_p$ . При незадовільному результаті, провадиться коригування "інвестиційного портфеля" перерозподілом інвестиційних засобів між проектами, що входять в "інвестиційний портфель". Вибирається остаточний варіант "портфеля інвестицій".

### Висновки

1. Адекватно відбити ситуацію, коли в процес прийняття рішень включаються неформальні чинники, дозволяють економіко-математичні моделі і методи, а також методи математичної статистики.

Вибір варіантів напрямків інвестиційної діяльності слід здійснювати на основі експертних оцінок за критеріями економічної ефективності інвестицій.

Інвестиційний потенціал будівельної організації має визначатися ліквідністю її активів, рівнем платоспроможності організації і можливістю залучення додаткових фінансових ресурсів, потрібних для реалізації прийнятого "інвестиційного портфеля".

2. Формуючи остаточний "портфель інвестицій", фірмі слід вибрати варіант, в якому забезпечується:

- найбільша прибутковість з обмеженням за рівнем ризику (не більше ніж);
- мінімальний ризик з обмеженням по прибутковості (не менше ніж).

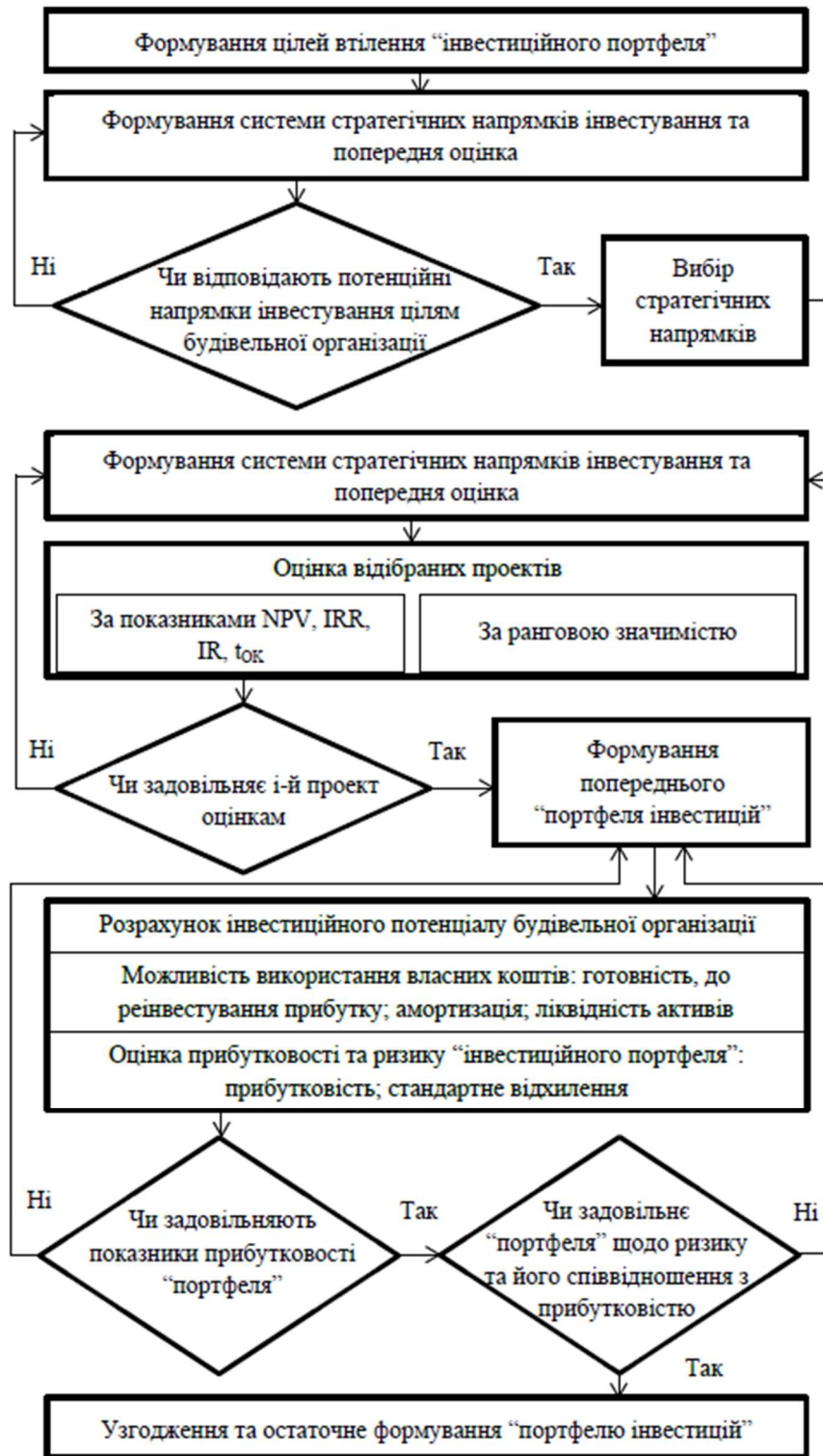


Рисунок 5 – Укрупнена схема алгоритму формування "інвестиційного портфеля"  
 Figure 5 – Enlarged scheme of the algorithm for forming the "investment portfolio"

При визначенні рівня прибутковості і ризику всього "портфеля" треба враховувати рівень прибутковості і ризику кожного з внесених у "портфель" активів, а також ступінь диверсифікації "портфеля".

Розроблений комплекс методик з питань оцінки інвестиційного потенціалу дозволяє будівельним організаціям враховувати їхній фінансовий стан і на цій основі: коригувати напрямок діяльності, регулювати інвестиційний потенціал, одержувати максимальний прибуток, реінвестувати його в розширення потенціалу, а також дає можливість залучати додаткові кошти.

### Перелік посилань

1. Ізмайлова К.В. Імітаційне моделювання фінансових показників інвестиційної діяльності підприємства // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2016. Вип. 2. С. 73-75.
2. Яценко І.В. Оцінка фінансових інструментів: доходність і ризик // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2015. Вип. 4. С. 153-156.
3. Яценко І.В. Оптимизация источников финансирования предприятия // Исследование и оптимизация экономических процессов. 2015. Вип. 19 ч.3. С. 46-50.
4. Бондаренко Є.В. Можливість залучення зовнішніх джерел фінансування для реалізації інвестиційних проектів // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2015. Вип. 6. С. 77-82.
5. Пархоменко В.В. Формування "портфеля інвестицій" будівельної організації // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2014. Вип. 7. С. 7-9.

### INVESTMENT POTENTIAL OF THE ROAD CONSTRUCTION ORGANIZATION

**Yatsenko Ihor V.**, Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Economics Department, tel. +3800442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 313, id ORCID 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, id ORCID 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, id ORCID 0000-0003-1643-6354

**Kurska Tetiana M.**, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), National University of Civil Defense of Ukraine, Associate Professor of Fire Prevention in Settlements, e-mail: tkurskaya67@gmail.com, тел. +30671447005, id ORCID 0000-0001-6377-9240

**Abstract.** The article is devoted to questions of estimation of investment potential of construction organizations engaged in investment activity and formation of a rational "investment portfolio". Proposed methods of estimation of investment potential of building organizations in order to form a rational "investment portfolio"; the mechanism of ranking and selection of investment activities on the basis of probabilistic weight expert estimates of investment parameters; simulation model of the activities of economic services of building organizations in the formation of a "portfolio of investments"; an algorithm for the formation of a portfolio of investments, taking into account the degree of risk (its relation to profitability) and the possibilities of the enterprise, whose high efficiency is theoretically substantiated and confirmed practically.

**Keywords:** construction organization, sources of financing, investment potential, "portfolio of investments", risk of "investment portfolio".

### References

1. Izmailova K.V. Imitatsiine modeliuвання finansovykh pokaznykiv investytsiinoi diialnosti pidpriemstva // Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. 2016. Vyp. 2. S. 73-75.
2. Iatsenko I.V. Otsinka finansovykh instrumentiv: dokhodnist i ryzyk // Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. 2015. Vyp. 4. S. 153-156.
3. Iatsenko I.V. Optymyzatsiya ystochnykov fynansyrovanyia predpriyatia // Yssledovanye y optymyzatsiya ekonomycheskykh protsessov. 2015. Vyp. 19 ch.3. S. 46-50.
4. Bondarenko Ye.V. Mozhlyvist zaluchennia zovnishnikh dzherel finansuvannia dlia realizatsii investytsiinykh proektiv // Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. 2015. Vyp. 6. S. 77-82.
5. Parkhomenko V.V. Formuvannia "portfelia investytsii" budivelnioi orhanizatsii // Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. 2014. Vyp. 7. S. 7-9.