

Національний авіаційний університет  
Міністерство освіти і науки України  
Національний авіаційний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

РЕЗНІК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 69.052 – 026.87 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ  
ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ДІЛЯНКАХ З ПІДВИЩЕНИМ  
РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми  
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О.М.Резнік

Науковий керівник: Беятинський Андрій Олександрович, д.т.н., професор

Київ 2019

Ідентичний за змістом з іншими примірниками дисертації.  
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Степанчук О.В.

## АНОТАЦІЯ

**Резнік О.М. Проектування автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.** – *Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – «Автомобільні шляхи та аеродроми». – Національний авіаційний університет, Київ. – Національний авіаційний університет, МОН України, Київ, 2019.

У дисертаційній роботі проаналізовано методи оцінки безпеки руху автомобілів на дорозі, вивчено особливості експлуатації автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування. Встановлено, що основними транспортно-експлуатаційними показниками при експлуатації автомобільних доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування є: міцність, рівність, шорсткість та коефіцієнт зчеплення покриття.

Забезпечити надійність дорожньої конструкції та безпеку руху на автомобільних дорогах – це першочергові завдання, які стоять перед інженерами-дорожниками. Особливо гостро в Україні постала проблема забезпечити безпеку руху на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування. Нераціональний вибір дорожньої конструкції і матеріалів дорожнього одягу, невірний вибір геометричних параметрів сприяє підвищенню ймовірності виникнення різних видів дефектів та явища аквапланування, що призводить до збільшення кількості ДТП на дорогах України. Тому в дисертаційній роботі набула подальшого розвитку теоретична модель, яка дає можливість попередити явище аквапланування.

В удосконаленій теоретичній моделі враховуються такі величини: швидкість руху транспортних засобів, за якої можливе виникнення явища аквапланування; критична товщина шару рідини, за якої виникне явище аквапланування; кут спливання колеса автомобіля.

Встановлено, що явище аквапланування підпорядковується нормальному закону розподілу критичної глибини шару води. В роботі автор запропонував

влаштувати раціональну конструкцію дорожнього одягу, де в якості верхнього шару покриття застосовується пористий асфальтобетон, який підстиляється базальтовим суцільним полотном марки ПСБ-Д. Застосування даної конструкції на автомобільних дорогах дозволить своєчасно відвести поверхневу воду з проїзної частини і тим самим попередити виникнення явища аквапланування.

Пористий асфальтобетон виявляє здатність вбирати в себе воду, що запобігає виникненню застою води на покритті після дії атмосферних опадів. Однак даний матеріал не знайшов широке застосування на автомобільних дорогах України через цілий ряд недоліків. Так, висока пористість призводить до зниження міцності дорожньої конструкції, прискореного старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні та більш швидкого заморожування нижче розташованих шарів.

Тому для усунення вищенаведених недоліків пористого асфальтобетону в роботі запропоновано укласти базальтове суцільне полотно, просочене полімерною речовиною, під верхній шар пористого асфальтобетону. Укладання суцільного базальтового полотна дозволить попередити волого накопичення в дорожній конструкції, збільшити її міцність та довговічність.

В роботі визначено ступінь надійності дослідних конструкцій з верхнім шаром покриття із пористого асфальтобетону з укладанням під верхній шар базальтоволоконного суцільного полотна. При оцінці надійності даної дорожньої конструкції враховувались три критерії міцності: розтяг при згині, зсув у шарах із незв'язних матеріалів, допустимий пружний прогин. Автором отримана залежність, яка дозволяє отримувати надійність для розробленої дорожньої конструкції в залежності від коефіцієнту запасу міцності.

Для підтвердження теоретичних положень про можливість попередження явища аквапланування шляхом улаштування двошарового покриття, в якому верхній шар укладається із гарячого пористого асфальтобетону, а нижній – гарячий крупнозернистий асфальтобетон і між шарами влаштовується проша-

рок із геотекстильного матеріалу – базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д, проведені експериментальні роботи, спрямовані на: визначення фізико-механічних властивостей пористого асфальтобетону; визначення властивостей базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д; визначення структурно-механічних властивостей пористого асфальтобетону; визначення зсувостійкості, довговічності, деформативності пористого асфальтобетону. При розробці оптимальної (з точки зору попередження явища аквапланування) дорожньої конструкції досліджено фізико-механічні властивості пористого щебеневого асфальтового бетону, а саме: пористість мінерального кістяка за об'ємом, залишкова пористість за об'ємом, водо насичення за об'ємом, границя міцності при стиску при температурах  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  та  $50^{\circ}\text{C}$ , коефіцієнт тривалої водостійкості. Виконаний розрахунок оптимального складу асфальтового бетону. При цьому використовувалось ґратчасте планування експерименту. Результатом розрахунку є отримані залежності властивостей від складу асфальтового бетону.

Особлива увага в роботі приділена визначенню деформативної здатності пористого асфальтобетону при від'ємних температурах. Випробування проводилися на зразках-балочках з параметрами  $4 \times 4 \times 16$  см з використанням гідравлічного пресу. В результаті проведених експериментальних досліджень отримані наступні показники тріщиностійкості пористого асфальтобетону, а саме: границя міцності при згині  $R_{зг}$ , модуль пружності  $E$  асфальтового бетону та відносне видовження. Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, встановлено, що пористий асфальтовий бетон при низьких температурах має не гіршу деформативну здатність, ніж звичайний дрібнозернистий асфальтобетон. Також виявлено, що пористий асфальтобетон в процесі експлуатації підвищує свої міцнісні показники. Це пояснюється процесами полімеризації та окиснення, які відбуваються в бітумі.

Досліджено показники зсувостійкості пористого асфальтобетону, а саме: кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , коефіцієнт внутрішнього тертя  $\mu$  та опір зсуву  $\tau$ .

Проаналізувавши результати експериментальних властивостей пористого асфальтового бетону по визначенню зсувостійкості, встановлено, що показники зсуву даного матеріалу знаходяться на рівні показників щільного дрібнозернистого асфальтового бетону. Автором досліджено фізико-механічні властивості базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене), а саме: міцність на розтяг (при армуванні), міцність на втому, міцність на роздирання, статичне продавлювання плунжером, коефіцієнт зсуву, дренажна здатність матеріалу під навантаженням, пошкоджуваність при укладанні, стійкість до дії агресивних середовищ, температурна деградація при дії високих температур, кислотна та лужна стійкості. Дослідження фізико-механічних властивостей суцільного базальтового волокна марки ПСБ-Д повністю відповідають вимогам нормативних документів, що дає можливість застосовувати даний матеріал для відведення надлишкової води із дорожньої конструкції та армування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону. Проведені лабораторні дослідження дають можливість застосовувати розроблену конструкцію дорожнього одягу на реальних ділянках автомобільних доріг з метою попередження явища аквапланування.

На реальній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) досліджено такі транспортно-експлуатаційні показники: рівність покриття, міцність дорожнього одягу, коефіцієнт зчеплення, фізико-механічні властивості пористого асфальтового бетону (шляхом відбору кернів з покриття). Автомобільна дорога Львів – Тернопіль на ділянці км 60+500 – км 62+700 вибрана як дослідна, оскільки на ній є підвищений рівень небезпеки аквапланування автомобілів під час випадання атмосферних опадів. На цій ділянці автомобільної дороги конструкція дорожнього покриття представлена такими шарами: верхній шар – із пористого асфальтобетону, нижній шар – із крупнозернистого асфальтобетону. При цьому між шарами влаштовується суцільне базальтове полотно марки ПСБ-Д (просочене). Розрахунки міцності дорожнього одягу показали, що розроблена автором дорожня конструкція

відповідає вимогам надійності. За результатами розрахунку ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтового бетону із базальтовим суцільним полотном марки ПСБ – Д (просочене) виявлено, що армована дорожня конструкція збільшує свою міцність та надійність у 2,5 рази.

На дослідній ділянці автомобільної дороги методом нівелювання проведені вимірювання глибини шару води на покритті та вимірювання швидкостей руху автомобілів різних типів. Підтверджено, що фактична крива розподілу глибин води на покритті підпорядковується закону нормального розподілу. Результати польових випробувань на міцність розробленої конструкції дорожнього покриття підтверджують виконані розрахунки.

Рівність поверхні асфальтобетонного покриття на дослідній ділянці визначалась з використанням поштовхоміра, встановленого на установку ПКРС-2У. Порівняльний аналіз вимірювань рівності покриття із пористого асфальтового бетону на дослідній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль та покриття із дрібнозернистого асфальтобетону на контрольній ділянці показує, що показники рівності на дослідній ділянці є меншими за аналогічні показники на контрольній ділянці автомобільної дороги. Така сама картина спостерігається з коефіцієнтом зчеплення. Термін окупності витрат на влаштування розробленої дорожньої конструкції на ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль становить 2 роки при нормативному терміні окупності капітальних вкладень 8 років.

За результатами досліджень автором розроблено рекомендації щодо улаштування геосинтетичного прошарку в конструкції дорожнього одягу на автомобільній дорозі Львів – Тернопіль (км 60+500 – км 62+700).

**Ключові слова:** аквапланування, надійність, пористий асфальтовий бетон, геосинтетичний прошарок, базальтове суцільне полотно, дорожній одяг, міцність.

**ANNOTATION**

*Rieznik O.* Designing highways in areas with an increased risk of aquaplaning.  
- Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of a Ph(D) in the specialty 05.22.11 - "Automobile roads and aerodromes ". - National Aviation University, Kyiv. - National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

In the dissertation the methods of estimation of safety of movement of cars on the road are analyzed, features of operation of highways on areas with the raised level of danger of aquaplaning are studied. It is established that the main transport and operational indicators in the operation of highways with an increased risk of aquaplaning are: strength, equality, roughness and coefficient of adhesion of the coating.

Ensuring the reliability of road construction and road safety is a priority task for road engineers. Particularly acute in Ukraine was the problem of ensuring the safety of traffic in areas with an increased risk of aquaplaning. Inappropriate choice of road construction and materials of road clothing, incorrect selection of geometric parameters contributes to increasing the likelihood of various types of defects and the phenomenon of aquaplaning, which leads to an increase in the number of accidents on the roads of Ukraine. Therefore, in the dissertation, the author developed a rational theoretical model, which makes it possible to prevent the occurrence of aquaplaning.

In the developed theoretical model, the following values are taken into account: the speed of vehicles, in which the occurrence of the phenomenon of aquaplaning may occur; the critical thickness of the liquid layer, which will give rise to the aquaplaning phenomenon; angle of the wheel of a car.

It was established that the aquaplaning phenomenon depends on the normal distribution law of the critical depth of the water layer. In the work the author proposed to arrange a rational design of road clothing, where as the top layer of coating applied poros-thy asphalt concrete, which is lined with a basalt continuous canvas of the mark CMD-R.

The use of this design on highways will allow timely removal of surface water from the roadway and thereby prevent the occurrence of aquaplaning phenomenon.

Porous asphalt concrete reveals the ability to absorb water, which prevents stagnation of water on the pavement after the action of atmospheric precipitation. However, this material was not widely used on Ukrainian highways due to a number of shortcomings. Thus, high porosity leads to a decrease in the strength of the road structure, accelerated aging of bituminous binder in asphalt concrete and faster freezing below the layers.

Therefore, in order to eliminate the aforementioned shortcomings of porous asphalt concrete, it is suggested to conclude a basalt continuous sheet impregnated with a polymeric material under the upper layer of porous asphalt concrete. Laying a solid basalt canopy will prevent the accumulation of moisture in the road structure, increase the durability and durability of the road structure.

In this work, the degree of reliability of experimental designs with the upper layer of coating from porous asphalt concrete with laying under a top layer of a basalt-fiber continuous web is determined. In assessing the reliability of this road construction, three strength criteria were taken into account: tension at bending, displacement in layers of non-connecting materials, permissible elastic deflection. The author obtained dependence, which allows us to obtain reliability for the developed road construction, depending on the coefficient of strength.

To confirm the theoretical positions on the possibility of preventing the phenomenon of aquaplaning by arranging a two-layer coating, in which the upper layer is composed of hot porous asphalt concrete, and the bottom - hot coarse asphalt concrete, and between the layers, a posh-Rock from geotextile material - a basalt continuous sheet of the brand CMD-R, conducted experimental work aimed at: determining the physical and mechanical properties of porous asphalt concrete; determination of the properties of the basalt continuous canvas of the mark PSB-D; determination of structural and mechanical properties of porous asphalt concrete; definition of shear stability, durability, deformability of porous asphalt concrete. In developing the optimal (in terms of



preventing the aquaplaning phenomenon) road construction, the physical and mechanical properties of porous gravel asphalt concrete were investigated, namely: porosity of the mineral skeleton in volume, residual porosity in volume, volume saturation in water, strength limit at compression at temperatures 0°C, 20°C and 50°C coefficient of long water resistance. The calculation of the optimal composition of asphalt concrete is performed. In this case, the grid planning of the experiment was used. The result of the calculation is the obtained dependence of the properties of the composition of asphalt concrete.

Special attention is paid to determining the deformative ability of porous asphalt concrete at negative temperatures. The tests were carried out on specimens - valves with parameters of 4x4x16 cm using a hydraulic press. As a result of the experimental research, the following parameters of the porosity of asphalt concrete crack resistance were obtained: namely, the bending strength, the elastic modulus  $E$  of asphalt concrete and the relative elongation. After analyzing the results of experimental studies, it has been established that porous asphalt concrete at low temperatures has no worse deformability than ordinary fine-grained asphalt concrete. It was also found that porous asphalt concrete during operation increases its strength parameters. This is due to the processes of polymerization and oxidation that occur in bitumen.

Indices of shear stability of porous asphalt concrete have been investigated, namely: internal friction angle  $\varphi$ , internal friction coefficient  $\mu$  and shear resistance  $\tau$ . Having analyzed the results of experimental properties of porous asphalt concrete on the definition of shear stability, it was established that the indices of the displacement of this material are at the level of indicators of dense fine-grained asphalt concrete. The author investigates the physical and mechanical properties of the CMD-R (impregnated) basaltic solid sheet: tensile strength (under reinforcement), fatigue strength, tensile strength, static bending with plunger, shear coefficient, drainability of the material under load, damage when stacking, resistance to aggressive media, temperature degradation under the influence of high temperatures, acid and alkaline resistance. The study of the physical and mechanical properties of CMD-R solid

basalt fiber fully complies with the requirements of the normative documents, which makes it possible to use this material for the removal of excess water from the road structure and reinforcement of the upper layer of the coating from porous asphaltic concrete. The conducted laboratory researches allow to use the developed design of road clothes on real areas of highways in order to prevent the phenomenon of aquaplaning.

The following transport and operational indicators have been investigated on the real section of the Lviv-Ternopil highway (km 60 + 500 - km 62 + 700): the equality of coverage, the strength of road clothing, the coefficient of adhesion, the physical and mechanical properties of porous asphalt concrete (by selecting the core from the coating) . The motorway Lviv-Ternopil on the section km 60 + 500 - km 62 + 700 is selected as an experimental one, since it has an increased risk of aquaplaning of cars during precipitation. In this section of the highway, the road surface design is represented by the following layers: the upper layer - from porous asphalt concrete, the bottom layer - from coarse asphalt concrete. In this case, a solid basalt canvas of the mark CMD-R (soaked) is arranged between the layers. Calculations of the strength of road clothing showed that the author designed the road construction meets the requirements of reliability. According to the results of calculating the effectiveness of the reinforcement of road construction with a coating of porous asphalt concrete with a basal continuous cloth of the mark CMD-R (impregnated) revealed that the reinforced road construction increases its durability and reliability by 2.5 times.

In the experimental section of the highway, the leveling method has been used to measure the depth of the water layer on the coating and measure the speeds of the various types of vehicles. It is confirmed that the actual water distribution curve on the coating is subject to the law of normal distribution. The results of field tests on the strength of the design of the road surface are confirmed by the calculations made.

The level of the surface of the asphalt concrete coating on the experimental site was determined using the impactor installed on the installation of the CDFC-2U. A comparative analysis of measurements of the equality of coverage from porous

asphalt concrete on the experimental section of the Lviv-Ternopil highway and the coverage of fine-grained asphalt concrete on the control site shows that the equality indicators at the experimental site are lower than the similar indicators in the control section of the highway. The same picture is observed with the coefficient of clutch. The payback period for the construction of the developed road construction at the Lviv-Ternopil highway is 2 years at the statutory payback period of capital investments of 8 years.

According to the results of the research, the author has developed recommendations for the arrangement of the geosynthetic layer in the construction of road clothing on the road Lviv - Ternopil (km 60 + 500 - km 62 + 700).

**Key words:** aquaplaning, reliability, porous asphalt concrete, geosynthetic layer, basalt continuous canvas, road clothes, strength.

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА****Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації**

1. Беятинський А.О. Захист яру від розмиву поверхневою водою / А.О. Беятинський, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – №3 – 4. – С. 203 – 206.
2. Беятинський А.О. Реконструкція аеродромів України / А.О. Беятинський, О.М. Резнік // Вісник Національного авіаційного університету. – 2007. – №3 – 4 (33). – С. 159 – 160.
3. Резнік А.Н. Проектирование автодорог на отрезках, подверженных влиянию аквапланирования / А.Н. Резнік, А.А. Беятынський // Mokslas – Lietuvos ateitis Science – Future of Lithuania. Vilnius: Lithuania: 2009. – Vol.1, №6. – P. 29 – 32.
4. Резнік О.М. Актуальність проблеми аквапланування в дорожньому будівництві / О.М. Резнік, А.О. Беятинський // Містобудування та територіальне планування: наук.-тех. зб. – 2012. – Вип. 45 у 3 частинах. – Частина 3. – С.97 – 101.
5. Ремига Ю.С. Значення комплексного критерію оцінювання управління ризиками в діяльності транспортних підприємств / Ю.С. Ремига, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2017. – №2. – С. 191 – 197.
6. Резнік О.М. Врахування виникнення аквапланування при оцінюванні безпеки руху автотранспорту / О.М. Резнік, Ю.С. Ремига // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №2. – С. 166 – 171.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

7. Беятинський А.О. Продовження терміну служби цементобетону за допомогою полімерних домішок / А.О. Беятинський, О.М. Резнік // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.447.
8. Беятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд автошляхів / А.О. Беятинський, Т.О. Утеченко,

О.М. Резнік // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.504.

**Наукові праці, які додатково відображають результати дисертаційного дослідження**

9. Беятинський А.О. CREDO MIX – цифрова модель проекту / А.О. Беятинський, Л.Г. Чичикало, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 97 – 99.

10. Беятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд і автошляхів / А.О. Беятинський, Т.О. Утеченко, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 99 – 101.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА ДІЛЯНКАХ ДОРІГ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ.....	14
1.1 Класифікація факторів, що визначають зчеплення колеса автомобіля з покриттям дороги.....	14
1.2 Методи регулювання режимів руху транспортних засобів.....	23
1.2.1 Взаємодія колеса автомобіля з поверхнею покриття.....	23
1.2.2 Методи оцінювання безпеки руху автомобілів.....	28
1.3 Обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки.....	34
1.3.1 Переваги використання покриття із пористого асфальтобетону для забезпечення відведення води з проїзної частини.....	34
1.3.2 Обґрунтування вибору базальтового полотна для улаштування водовідвідного і армуючого прошарку у запроектованій конструкції дорожнього одягу.....	44
Висновки до розділу 1.....	51
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ АВТОШЛЯХІВ НА ВІДРІЗКАХ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ АКВАПЛАНУВАННЯ.....	53
2.1 Математична модель оцінки виникнення аквапланування автомобілів.....	53
2.2 Обґрунтування критичної швидкості і аквапланування автомобілів.....	56
2.3 Вплив товщини шару води на визначення можливості виникнення аквапланування автомобіля.....	62
2.4 Модель впливу нерівностей покриття дороги на швидкість аквапланування автомобіля.....	64

2.5	Теоретичні основи забезпечення надійності роботи дорожньої конструкції для попередження появи аквапланування автомобілів.....	67
2.6	Моделі та розрахункові схеми оцінки міцності дорожніх конструкцій, які попереджають появу аквапланування автомобілів.....	74
	Висновки до розділу 2.....	85
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРИСТОГО АСФАЛЬТОВОГО БЕТОНУ ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ .....</b>		
3.1	Опис виконання експериментальних досліджень.....	87
3.2	Дослідження фізико-механічних властивостей пористого асфальтового бетону.....	87
3.3	Розрахунок оптимального складу асфальтового бетону.....	92
3.4	Визначення фізико-механічних властивостей пористого асфальтового бетону.....	96
3.5	Дослідження фізико-механічних властивостей базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене).....	97
3.6	Дослідження деформаційних властивостей пористого асфальтобетону (зсувостійкості і тріщиностійкості).....	99
3.6.1	Дослідження зсувостійкості пористого асфальтобетону.....	99
3.6.2	Дослідження деформативної здатності при від'ємних температурах пористого асфальтового бетону.....	100
3.6.3	Розрахунок коефіцієнту заповнення пор мінерального остова бітумом.....	102
3.7	Дослідження довговічності пористого асфальтового бетону.....	103
	Висновки до розділу 3.....	104
<b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З ПОКРИТТЯМ ІЗ ПОРИСТОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ.....</b>		
4.1	Конструкція дорожнього одягу досліджуваної ділянки автомобільної дороги Львів-Тернопіль.....	106

4.2	Розрахунок конструкції дорожнього одягу.....	107
4.3	Розрахунок ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБП-Д (просочене).....	110
4.4	Експериментальні дослідження руху автомобілів по покриттю із шаром води .....	114
4.4.1	Вимірювання глибини шару води на покритті дороги.....	114
4.4.2	Вимірювання швидкостей руху автомобілів різних типів в залежності від глибини шару води на покритті.....	124
4.5	Визначення транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу...	126
4.5.1	Візуальна оцінка стану дорожнього одягу.....	127
4.5.2	Інструментальна оцінка стану дорожнього одягу.....	128
4.5.2.1	Визначення міцності дорожнього одягу.....	128
4.5.2.2	Дослідження зміни рівності асфальтобетонного покриття.....	137
4.5.2.3	Дослідження процесів зміни коефіцієнту зчеплення.....	138
4.6	Експериментальні дослідження пористого щебеневого асфальтового бетону.....	139
4.7	Економічна ефективність проектування конструкції дорожнього одягу для попередження виникнення аквапланування автомобілів.....	142
	Висновки до розділу 4.....	149
	ВИСНОВКИ.....	150
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	154
	ДОДАТКИ.....	168



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ДТП – дорожньо-транспортні пригоди

ТЕП – транспортно-експлуатаційні показники

АСГ – асфальтобетонна суміш гаряча

ГМ – геосинтетичний матеріал

БНД – бітум нафтовий дорожній

ББВ – базальтове безперервне волокно

ПСБП – просочене суцільне базальтове полотно

ГТ – геотекстиль

ГВ – вироби, віднесені до геотекстилю

ГБ – геосинтетичні бар'єри

ОВСН – оцінка впливу на навколишнє середовище

ОП УПП – Окремий підрозділ Управління патрульної поліції

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Автомобільні дороги є важливою складовою транспортної системи країн всього світу. Вони забезпечують здійснення перевезень найбільш доступним для широкого кола споживачів автомобільним транспортом та дозволяють робити доставку вантажів і пасажирів в найрізноманітніших напрямках.

Соціально-економічний розвиток країни, її інтеграція у світове співтовариство значною мірою залежать від розвитку транспортної інфраструктури, зокрема від технічного стану автомобільних доріг, який повинен відповідати сучасним вимогам та безпеці руху транспорту, особливо на складних ділянках (повороти, круті схили, погана видимість).

Сьогодні автомобіль є невід'ємним атрибутом побуту та виробничої діяльності всього цивілізованого світу. Разом з тим, автомобілізація супроводжується таким негативним явищем як дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), що призводить до загибелі та каліцтва мільйонів людей.

Кількість ДТП значно збільшується при русі транспорту за складних погодних умов, зокрема під час опадів: дощу та снігопаду або в тумані, які сприяють утворенню шару води на дорожньому покритті.

За даними статистики відносна аварійність на вологому покритті в осінньо-весняний період – в 2,2 -2,5 рази вища ніж на сухому – в літній період року, незважаючи на те, що інтенсивність у весняно-осінній періоди значно нижче ніж влітку.

Так, найбільша кількість ДТП із смертельними наслідками в Норвегії та Швеції [1] відбувається в період з серпня по грудень – кількість загиблих на 100 ДТП становить 3-4 чоловіки. У Франції і Польщі [1, 2] збільшення ДТП з тяжкими наслідками припадає на грудень-лютий [1, 2] і кількістю загиблих на 100 ДТП 2-3 чоловіки.

В Україні, на жаль, масштаби аварійності дорожньо-транспортного травматизму та смертності внаслідок ДТП випереджають аналогічні показники європейських країн. Кількість загиблих на 100 ДТП у нашій країні складає 15-

17 одиниць, що в 7-8 разів перевищує аналогічний показник таких країн Європи як Австрія, Німеччина, Португалія, Швеція та в 3-4 рази показник Угорщини, Данії, Фінляндії. Значний відсоток всіх ДТП 45-55 % виникає на слизьких та мокрих покриттях автомобільних доріг [3].

В результаті сумісного впливу від'ємних або близьких до 0 °С температур, підвищеної вологості повітря, танення снігу з подальшим замерзанням талої води, охолодження покриття, випадання атмосферних опадів, конденсації водяних парів змінюється стан поверхні покриття проїзної частини, зменшується зчеплення шини колеса з дорогою.

Вплив води на покриття не обмежується зменшенням зчеплення. Рідина, що знаходиться на проїзній частині, здійснює динамічний тиск на шину колеса, викликаючи, особливо при ускладнених дорожніх та погодних умовах, зменшення зони контакту і навіть появу проковзування колеса по водяному шарі (аквапланування автомобіля).

Частіше всього, аквапланування автомобіля відбувається на ділянках доріг, де виникає застій води (на ділянках увігнутих вертикальних кривих поздовжнього профілю чи на горизонтальних ділянках автомобільної дороги) внаслідок дії опадів – випадання дощу або танення снігу. Це обумовлено недоліками, допущеними при проектуванні доріг, а саме – невірному виборі геометричних параметрів (радіусів кривих, ширини проїзної частини, ухилів) тощо та нераціональному виборі конструкції і матеріалів дорожнього одягу, що при проїзді транспортних засобів сприяє появі на покритті дефектів, деформацій і руйнувань, тобто невідповідності транспортно-експлуатаційних показників (ТЕП) вимогам безпеки руху.

Таким чином, до ділянок доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування відносяться ділянки з невідповідністю:

- запроектованих геометричних параметрів вимогам інтенсивності і швидкості руху автомобілів;

- прийнятої конструкції дорожнього одягу і матеріалу, з якого влаштовано покриття вимогам транспортно-експлуатаційних показників (ТЕП) для дороги визначеної категорії.

Встановлено [4], що суттєве зниження швидкості руху автомобіля виявляється вже на початку аквапланування при незначному опорі кочення води.

Опором кочення води вважається явище, що виникає внаслідок ударів бризок води по кузову автомобіля і обумовлює підйом коліс над поверхнею покриття дією гідродинамічної підйомної сили.

Взагалі, підйомна дія води визначається її гідростатичною і гідродинамічною силами, що діють на колесо. Гідростатична підйомна сила незначна при русі автомобіля по дорозі тому її вплив практично не враховується.

Гідродинамічна підйомна сила сприймає всі вертикальні навантаження, що передаються від коліс автомобіля на дорогу і відповідає за безпечний та комфортний рух транспортних засобів.

При русі автомобіля по вологій поверхні перед шинами передніх коліс утворюється хвиля, вода піднімається вгору, відкидається по обидва боки колесами, що насуваються і розсипається (розбризкується) від значної швидкості руху.

За колесами тиск в шарі води відсутній або настільки незначний, що не має суттєвого впливу на забезпечення безпеки руху автомобіля при збільшеній товщі рідини і початку виникнення аквапланування автомобіля.

Глибина води на проїзній частині дороги і виникнення аквапланування автомобілів залежить від транспортно-експлуатаційного стану покриття. На рівній, шорсткій поверхні глибина шару буде значно меншою, ніж при наявності різних дефектів і деформацій – тріщин, луцнення, колій, вибоїн тощо. Значну роль у виникненні аквапланування автомобіля після випадання опадів відіграють геометричні параметри доріг, а саме ширина проїзної частини, ухили, радіуси кривих.

Але найголовнішим фактором попередження аквапланування автомобілів під час випадання значної кількості опадів є вибір раціональної конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, склад якого дозволить вбирати надлишкову воду з покриття не знижуючи при цьому міцність і довговічність нижчерозташованих шарів.

Нагальність вирішення завдань, пов'язаних з проектуванням автомобільних доріг з оптимальною конструкцією дорожнього одягу на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування при складних погодних умовах для забезпечення безпеки і комфортності руху транспортних засобів зумовлює актуальність теми.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є отримання експериментальних залежностей критичної швидкості від товщини шару рідини для попередження виникнення явища аквапланування, що дозволить отримати адекватні показники як в натурних, так і в лабораторних умовах та використати дані показники при проектуванні та розрахунку дорожніх одягів.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлено та виконано такі основні завдання:

1) дослідити причини існування ділянок з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування на автомобільних дорогах з нежорстким дорожнім одягом;

2) удосконалити математичну модель попередження виникнення явища аквапланування в залежності від критичної глибини шару води, яка обумовлює критичну швидкість руху автомобілів із врахуванням нерівностей покриття та експериментально підтвердити оптимальність підбраного складу асфальтобетонної суміші з визначенням фізико-механічних властивостей;

3) удосконалити конструкцію дорожнього одягу з улаштуванням верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) між шарами ;

4) дослідити вплив базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене), укладеного між шарами асфальтобетонного покриття, на зниження

рівня безпеки аквапланування, підвищення міцності і довговічності дорожнього одягу;

5) дослідити транспортно-експлуатаційні показники дорожнього одягу і покриття, що знижує рівень безпеки аквапланування з визначенням міцності, рівності і коефіцієнта зчеплення.

**Об'єкт дослідження** – явище виникнення аквапланування на ділянках автомобільної дороги з підвищеним рівнем безпеки.

**Предмет дослідження** – зниження рівня безпеки аквапланування ділянок доріг з асфальтобетонним покриттям для гарантування безпеки руху транспортних засобів.

**Методи дослідження.** Методологічною основою дисертаційного дослідження є:

науково-обґрунтовані методи математичної статистики і регресивного аналізу при побудові математичних моделей, адекватність яких підтверджена результатами експериментальних досліджень і виробничого впровадження з використанням сучасного обладнання;

аналітичні методи розрахунку на міцність конструкції дорожнього одягу; системний підхід при підборі оптимальної конструкції дорожнього одягу на ділянках з підвищеним рівнем безпеки аквапланування.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- отримано нові експериментальні залежності критичної швидкості руху, при якій відбувається виникнення явища аквапланування, від критичної товщини шару води;

- удосконалено конструкцію дорожнього одягу з улаштуванням верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) між шарами;

- удосконалена математична модель для оцінки впливу нерівностей покриття дороги на швидкість аквапланування з визначенням залежностей відстані і часу спливання коліс від стану покриття.

- набула подальшого розвитку математична модель попередження виникнення явища аквапланування на ділянках доріг з асфальтобетонним покриттям з урахуванням факторів та фізичних процесів, що відбуваються на покритті при наявності шару води, з визначенням критичної швидкості автомобіля по мокрій поверхні.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, що наведені в дисертаційній роботі та представлені до захисту, одержані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю. Особистий вклад здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві:

[1, 3] – теоретичні дослідження з удосконаленням математичної моделі виникнення аквапланування з урахуванням дії погодно-кліматичних факторів і фізичних процесів, транспортно-експлуатаційних показників ділянок доріг з підвищеним рівнем небезпеки появи цього явища;

[2] – удосконалення математичної моделі визначення оптимальної конструкції нежорсткого дорожнього одягу для попередження виникнення аквапланування різного виду транспортних засобів;

[4] – аналіз існуючих методів проектування ділянок доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування;

[5, 6] – експериментальні дослідження щодо визначення ТЕП конструкції дорожнього одягу, яка протидіє виникненню аквапланування;

[7] – розробка рекомендацій стосовно продовження терміну служби цементобетону за допомогою полімерних домішок;

[8] – встановлення можливості застосування сучасних новітніх технологій при проектуванні автомобільних шляхів та транспортних споруд;

[9, 10] – аналіз системи CREDO\_MIX, яка призначена для вирішення задач проектування генеральних планів підприємств, транспортних споруд і житлово-цивільних об'єктів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

- розроблений склад пористої асфальтобетонної суміші для улаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону, експериментально

підтверджена оптимальність її складу та визначені фізико-механічні властивості;

- проведені дослідження щодо визначення ТЕП на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування – міцності, рівності та коефіцієнта зчеплення;

- розроблено технологію улаштування покриття із пористого асфальтобетону з укладанням базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене);

- розроблені рекомендації щодо улаштування геосинтетичного прошарку в конструкції дорожнього одягу на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700.

Результати досліджень мають практичну направленість та плануються використати при розробці навчального посібника «Експлуатація автомобільних доріг».

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес у Національному авіаційному університеті при викладанні дисциплін «Інноваційні матеріали для будівництва доріг та аеродромів», «Проектування автомобільних доріг», «Дорожні та аеродромні покриття», у дипломному проектуванні та виконанні наукових робіт студентів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження виконане згідно з тематикою науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету, навчально-наукового інституту аеропортів, кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів у рамках виконання держбюджетних та госпдоговірних тем: «Методологія реконструкції об'єктів аеропортів в складних інженерно-геологічних умовах України», 2010-2011 рр. (державний реєстраційний номер 0110U000220), №40/10.01.01 «Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст України», 2013-2014 рр., «Підвищення шорсткості асфальто- і цементобетонних покриттів автомобільних доріг та аеродромів», 2015-2016 рр. (державний реєстраційний номер 0115U002470), «Розробити методичні



рекомендації з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг з цементобетонним покриттям», 2013-2014 рр. (державний реєстраційний номер 024U008190), №1067X16 «Дослідження властивостей золи-виносу, шлаку та золошлакових сумішей для використання їх в дорожній та аеродромній галузях з видачею експертного висновку», 2016-2017 рр., темами дипломних робіт, магістерськими програмами і спецкурсами.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Результати досліджень, практичних розробок та впровадження висвітлено в 2 наукових конференціях, у тому числі: 12-та конференція молодих вчених «Наука – майбутнє Литви»; X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос».

**Публікації.** Наукові результати опубліковані у 10 наукових працях, зокрема 5 - у вітчизняних виданнях, що входять до наукових фахових видань з технічних наук, затверджених МОН України; 1 - у закордонному науковому періодичному виданні; 2 – у не фаховому періодичному виданні України та 2 публікації у збірниках за матеріалами конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 193 сторінки, із них 136 сторінок – основна частина. У тексті міститься 39 графічних ілюстрацій, 35 таблиць, список використаних джерел обсягом 133 найменувань на 14 сторінках, додатки на 26 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА ДІЛЯНКАХ ДОРІГ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ

### 1.1. Класифікація факторів, що визначають зчеплення колеса автомобіля з покриттям дороги

Зчеплення коліс автомобілів всіх типів з покриттям є однією з головних умов забезпечення безпеки руху по дорогах.

Безпека руху – це відсутність ймовірності виникнення аварії автомобілем будь-якого типу, який рухається з вибраною водієм деякою швидкістю в потоці при умові забезпечення ефективної роботи водія і транспортного засобу в тій чи іншій дорожній обстановці.

Поняття «дорожня обстановка» включає в себе сукупність геометричних елементів дороги, транспортно-експлуатаційних показників, архітектурних елементів і елементів рельєфу місцевості, а також видимість, наявність засобів регулювання руху, швидкість та інтенсивність руху транспортних засобів, професійні якості водіїв та їх психофізіологічний стан.

Дорожня обстановка на різних ділянках доріг відрізняється за своїми властивостями, типом дорожнього одягу, розміщенням проїзної частини в полі зору водія та інше. Це призводить до того, що водії вимушені безперервно приймати рішення щодо режимів руху, які найбільш відповідають даній дорожній обстановці.

Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) виникають в таких випадках:

- де рух автомобілів виконується з виїздом на смугу зустрічного руху, при обгонах, об'їзді перешкод та під дією поперечної сили внаслідок невірною початку або завершення обгону;

- при пересіченні траєкторії руху транспортних засобів і пішоходів, що зустрічається на ділянках із з'їздами, примиканнями, пересіченнями в одному рівні, пішохідними переходами, майданчиками відпочинку тощо;

- при недостатній відстані видимості поверхні дороги або зустрічного автомобіля. Але частіше всього ДТП з тяжкими наслідками виникають на слизьких та мокрих покриттях внаслідок невідповідності транспортно-експлуатаційних показників інтенсивності і режимам руху автомобілів.

Дослідженнями А.О. Белятинського, О.А. Білятинського, К.В. Краюшкіної, О.П. Васильєва, М.В. Немчинова, В.Ф. Бабкова, Я.В. Хомяка, В.Ф. Скорченко, Knoll, Nazet, Sudwing [5-13] та інших визначено, що із усіх елементів дороги на режим і безпеку руху найбільше впливає стан проїзної частини і узбіч. Велике значення мають матеріали, з яких влаштована проїзна частина, узбіччя і вся конструкція дорожнього одягу, оскільки від цього залежить забезпечення ТЕП доріг різних технічних категорій.

До ТЕП відносяться показники, які визначають відповідність стану проїзної частини і узбіч вимогам руху і здатність забезпечення цієї відповідності на період експлуатації дороги.

Згідно Технічних правил ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України до основних ТЕП відносяться: шорсткість – зчіпні якості покриття (коефіцієнт зчеплення), рівність покриття і міцність дорожнього одягу.

Шорсткість являє собою сукупність нерівностей покриття, які не викликають низькочастотних коливань автомобіля на підвісці і не впливають на його динаміку та роботу двигуна.

Максимальна довжина нерівностей шорсткості залежить від розмірів шин автомобілів і знаходиться в межах 30-100 м.

Шорсткість покриття поділяється на два види: макрошорсткість (макронерівності) довжиною 2-3 мм і висотою не більше 0,2-0,3 мм, які впливають на динаміку автомобіля та роботу двигуна і мікрошорсткість (мікронерівності) довжиною 1-2 мм і висотою 0,1-0,2 мм, які викликають коливання автомобіля на підвісці, але не впливають негативно на роботу двигуна. Мікронерівності визначаються шорсткістю матеріалу, що утворює нерівності макрошорсткості.

Кількісна оцінка шорсткості виконується за допомогою висотних ( $R$ ) і крокових параметрів ( $S_n$ ).

Профілограма ділянки поверхні покриття із дрібнозернистого асфальтобетону типу «Б» наведена на рисунку 1.1.

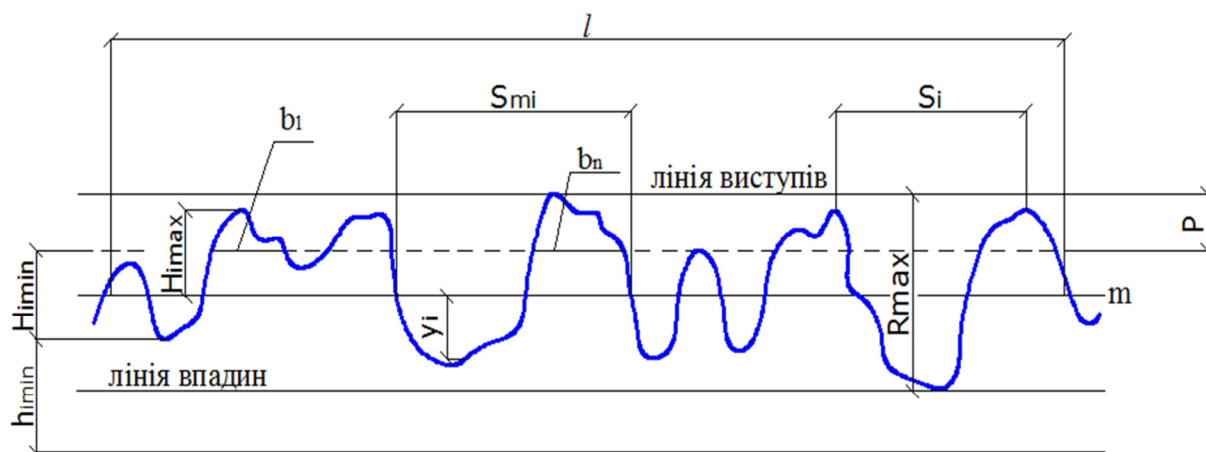


Рис. 1.1. Профілограма ділянки покриття із щільного асфальтобетону типу «Б»

Примітка.  $R_{\max}$  – найбільша висота нерівностей профілю ( $R_{\max}=H_{\max}+H_{\min}$ );  $S_{i\text{сеп}}$  – середній крок нерівностей по вершинах;  $h_1, h_2, \dots, h_5$  – ординати вимірюваного профілю (від гребеня вершини до дна поглиблення);  $n$  – число вимірних ординат

Характерний профіль макрошорсткості дорожнього покриття (поверхнева обробка), що влаштована на дорозі III технічної категорії із щебеню фракції 15-20 мм, наведений на рисунку 1.2. На рис. 1.2, а позначено, що  $\psi$  – середній кут вершин нерівностей.

Характерний профіль власної шорсткості зерен щебеню, що формує макрошорсткість, наведений на рис. 1.3.

М.В. Немчинов визначив [10], що шорсткість покриття має значний вплив на величину коефіцієнта зчеплення ( $K_{зч}$ ), який раціонально виразити через площу контакту шини з покриттям.

Вплив нерівностей покриття на площу контакту автомобільних шин з поверхнею показаний на рис. 1.4.

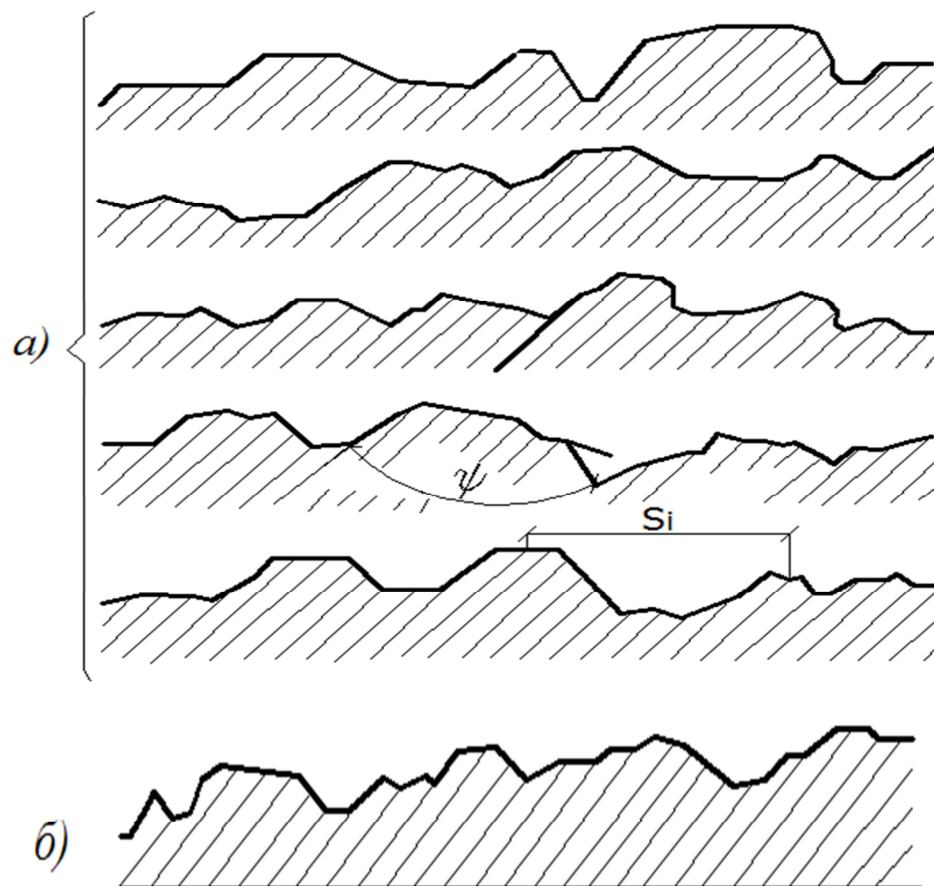


Рис. 1.2. Профіль макрошорсткості покриття (поверхнева обробка із щебеню фракції 15-20 мм)

а) – після двох місяців експлуатації  $R_{сер} - 2,7$  мм,  $S_{ісер} - 22,0$  мм

б) – після одного року експлуатації  $R_{сер} - 2,1$  мм,  $S_{ісер} - 19,8$  мм

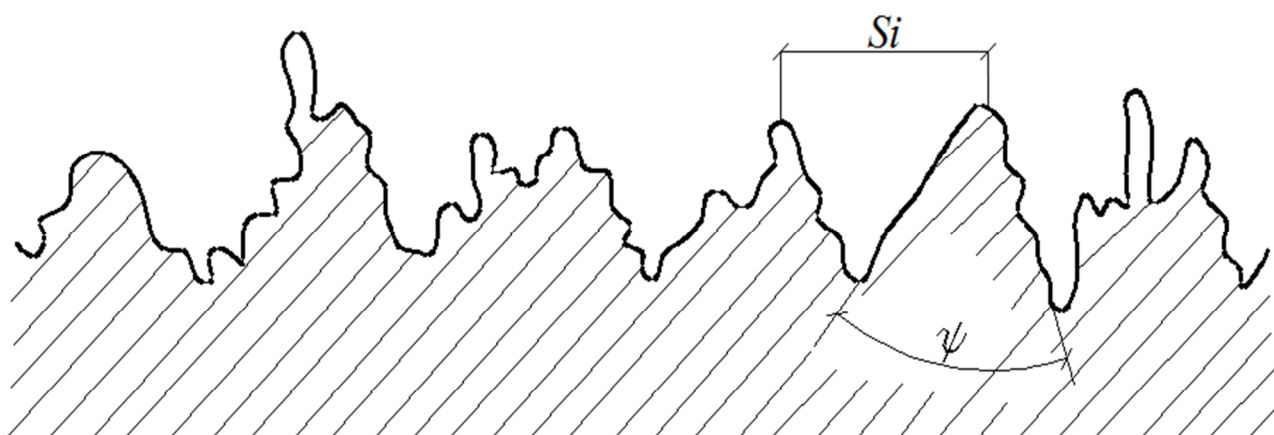


Рис. 1.3. Шорсткість зерен щебеню, що формує макрошорсткість покриття

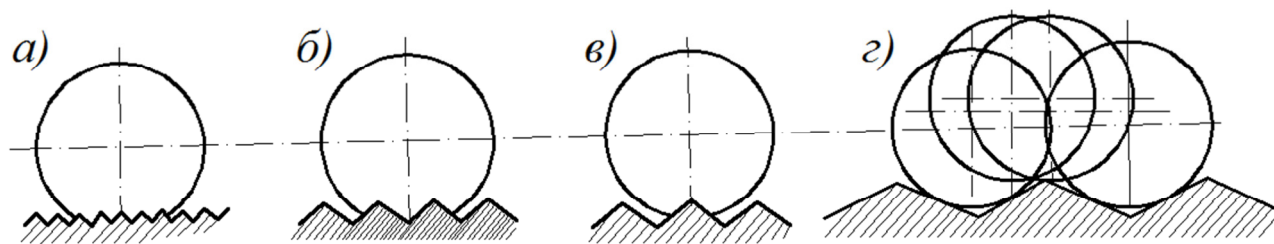


Рис. 1.4. Вплив нерівностей різних типів покриття на площу контакту колеса автомобіля з поверхнею

- а) - дрібношорстке покриття – дрібнозернистий щільний асфальтобетон тип «Б»;
- б) – крупношорстке покриття – крупнозернистий щільний асфальтобетон;
- в) – дрібнозернистий пористий асфальтобетон;
- г) – крупнозернистий пористий асфальтобетон.

Проведеними дослідженнями [11, 14-18] встановлено, що є контурна і фактична площа контакту шин з поверхнею покриття дороги.

Контурна площа контакту ( $S_k$ ) не залежить від шорсткості покриття, а визначається тільки конструкцією шини, тиском повітря в ній і величиною нормального навантаження на колесо:

$$S_k = \frac{2b}{\lambda_1} \left\{ 2ch \left[ \frac{1}{3} \operatorname{acrch} \left( \frac{3}{4} \cdot \frac{G_k r_0 \lambda_1^2}{P_0 b a_0} - 1 \right) \right] - 1 \right\}, \quad (1.1)$$

де

$b$  – ширина бігової доріжки шини;

$$\lambda_1 = \sqrt{kP_0}; \quad (1.2)$$

$G_k$  – нормальне навантаження на колесо;

$r_0$  – половина кута обхвату;

$a_0$  – середній радіус кривизни нитки корда в боковині шини в недеформованому шарі;

$P_0$  – тиск повітря в шинах.

Фактична площа контакту ( $S_\phi$ ) безпосередньо залежить від шорсткості покриття. Внаслідок виступів макрошорсткості гума протектора шини в межах контурної площі контакту не всюди доторкається до матеріалу покриття і тому

фактична площа контакту менше контурної, і тим в більшій мірі, чим вище нерівності макрошорсткості. Величина фактичної площі контакту визначається геометричними параметрами виступів макрошорсткості – висотою, кроком, кутом при вершині.

Залежність фактичної площі контакту ( $S_{\phi}$ ) від контурної ( $S_k$ ) визначається рівнянням:

$$\frac{S_{\phi}}{S_k} = 32,88 R_{\text{ср}}^{-0,8} . \quad (1.3)$$

Дослідженнями В.О. Астровва, О.П. Васильєва, Я.В. Хом'яка, М.В. Немчинова [8, 10, 11, 14 – 15] доведено, що опір ковзанню автомобільних шин, тобто опір акваплануванню автомобіля в основному залежить від ступеня шорсткості поверхні покриття дороги.

Шорсткість покриття впливає на витрати енергії автомобіля, що рухається на такі дії:

- тертя і деформацію гуми протектора шин, тобто на величину адгезійної і деформаційної складових сили опору ковзання;
- опору появи аквапланування автомобіля;
- вірогідність розриву водяної плівки, що формується на проїзній частині доріг під час дощу або танення снігу;
- формування теплового режиму в зоні контакту шини з покриттям дороги, від чого залежить плавність руху автомобіля, рівень транспортного шуму, можливість засліплення водіїв відображеним світлом фар зустрічних автомобілів.

Ступінь шорсткості покриття значною мірою впливає на зменшення чи збільшення рівня небезпеки аквапланування автомобілів під час випадіння дощу або танення снігу взимку. Але необхідно враховувати, що покращення зчіпних якостей покриття за рахунок збільшення шорсткості супроводжується зростанням транспортного шуму і посиленням вібрації автомобіля.

Однією із головних характеристик дорожнього покриття, особливо за складних погодних умов, при можливості виникнення аквапланування, є здатність надавати опір проковзуванню автомобільних шин, тобто забезпечувати зчіпні якості колеса автомобіля з поверхнею дороги.

Стан проїзної частини за зчіпними якостями оцінюється коефіцієнтом зчеплення, який вимірюється причіпним пристроєм типу ПКРС на вологому покритті згідно до вимог ДСТУ Б В.2.3-2-2000, ДСТУ Б В.2.3-8-2003.

Допустимий коефіцієнт зчеплення колеса автомобіля з проїзною частиною повинен забезпечувати безпечні умови руху при нормативній швидкості згідно вимог ДСТУ 3587-97 і бути не менше 0,3.

У випадку зниження зчіпних якостей покриттів доріг визначені строки для усунення цього явища, які наведені в таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1*

#### **Строки усунення зниження зчіпних якостей покриття**

Роботи з підвищення зчіпних якостей покриття	Строк виконання роботи, доби не більше
- за умови зносу шорсткої поверхні	Протягом будівельного сезону
- за умови випотівання органічних в'язучих речовин	4
- при акваплануванні автомобілів	3
- при забрудненні	1

На основі вивчення літературних даних, автором розроблена класифікація факторів, що впливають на значення коефіцієнту зчеплення, тобто на попередження появи аквапланування, яка наведена на рисунку 1.5.

Але забезпечення нормативного значення коефіцієнта зчеплення залежить не тільки від транспортно-експлуатаційного стану покриття і дорожнього одягу, а й інших факторів.

Загальна класифікація факторів, що визначають зчеплення шини автомобільного колеса з покриттям і попередження виникнення



аквапланування транспортного засобу при дії погодно-кліматичних факторів наведена на рисунку 1.6.



Рис. 1.5. Класифікація факторів, що впливають на попередження появи аквапланування

Аналізуючи фактори забезпечення зчеплення колеса автомобіля з покриттям видно, що регулювати  $K_{зч}$  і попереджувати появу аквапланування стає можливим завдяки:

- забезпеченню ТЕП відповідно до технічної категорії дороги;
- регулюванню режимів руху транспортних засобів;
- улаштуванню раціональної конструкції дорожнього одягу на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.

Покриття може бути міцним і довговічним, але якщо не забезпечена шорсткість і рівність проїзної частини та узбіччя, то не будуть забезпечені розрахункові швидкості і безпека руху автомобілів.

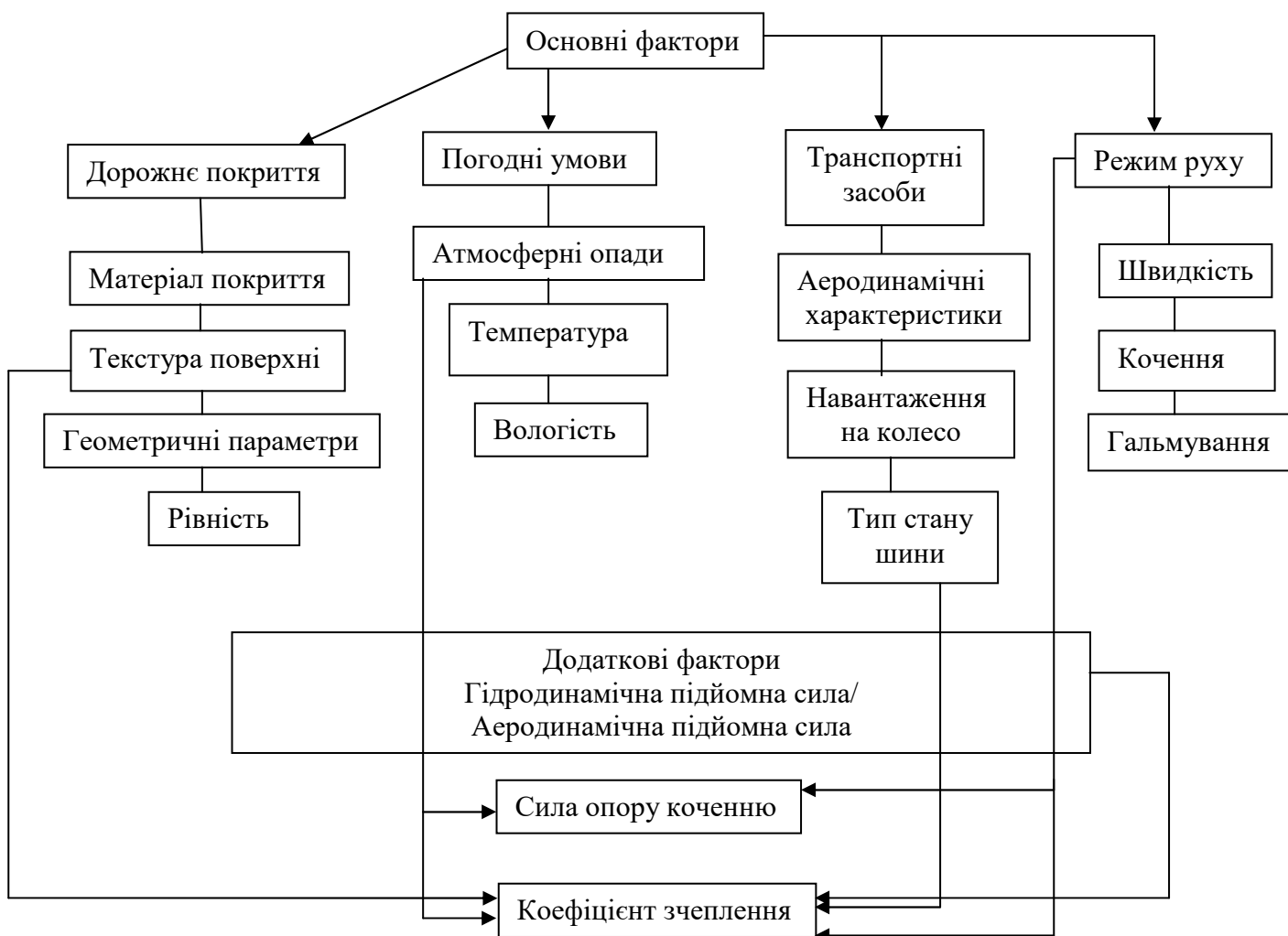


Рис.1.6. Класифікація факторів, що впливають на забезпечення зчеплення колеса автомобіля з покриттям і попереджують появу аквапланування транспортного засобу

Стан покриття дороги, що знаходиться в експлуатації, за рівністю вважається задовільним, якщо гранично допустимі показники рівності проїзної частини при контролі трьохметровою рейкою відповідають визначеним відповідним значенням по категоріях доріг, що наведені у таблиці 1.2.

При таких значеннях рівності практично виключена можливість появи аквапланування автомобілів під час дії негативних погодно-кліматичних умов.

Міцність дорожнього одягу оцінюється коефіцієнтом запасу міцності ( $K_m$ ), який визначається як відношення фактичного модуля пружності дорожньої конструкції в розрахунковий період року ( $E_\phi$ ) до необхідного модуля пружності ( $E_n$ ) при існуючому русі на дорозі:

$$K_{\text{м}} = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{н}}} . \quad (1.4)$$

Таблиця 1.2

**Значення показника рівності проїзної частини доріг різних категорій**

Категорія дороги і тип дорожнього одягу	Рівність проїзної частини, мм
I капітальний	5/6
II капітальний	5/7
II полегшений	7/8
III капітальний	5/9
III полегшений	7/12
IV капітальний	7/14
IV полегшений	10/15
Примітка. У чисельнику наведені значення просвітів під рейкою, у знаменнику просвіти більше допустимих від загального числа вимірювань	

Дорожня конструкція задовольняє умовам по міцності, якщо виконується умова:

$$K_{\text{зм}} \succ K_{\text{зм}}^{\text{доп}} . \quad (1.5)$$

де  $K_{\text{зм}}^{\text{доп}}$  – мінімально допустиме значення коефіцієнту запасу міцності дорожнього одягу.

## 1.2. Методи регулювання режимів руху транспортних засобів

### 1.2.1. Взаємодія колеса автомобіля з поверхнею покриття

Проблемою забезпечення безпеки руху автомобілів різних типів на складних ділянках доріг займалися такі вчені як В.Ф. Бабков, О.А. Белятинський, Я.В. Хом'як, К.В. Краюшкіна, М.В. Немчинов, М.В. Борисюк, Ю.М.Сухоруков, В.М. Юмашев, Darguzis A. et al, Zarijs A. [18-28].

Аналіз проведених досліджень свідчить, що статистичні моделі для визначення ділянок доріг з незабезпеченими розрахунковою швидкістю руху та підвищеним ризиком виникнення ДТП значну роль відводять ділянкам, де є підвищений рівень небезпеки аквапланування. Поява аквапланування залежить від дії погодно-кліматичних факторів, але спричиняється дією багатьох чинників (ТЕП, текстурних, конструктивних), поєднання яких призводить до тієї чи іншої ймовірності початку аквапланування. Встановлення залежності швидкість руху автомобіля по шару рідини – «ймовірність аквапланування» є важливим завданням зниження аварійності на дорогах на стадії експлуатації (шляхом обмеження швидкості руху чи зміною відміток поздовжнього і поперечного профілів дороги). На даний момент часу, дослідження ковзання колеса автомобіля по шару рідини при відсутності контакту шини з покриттям в різних дорожньо-кліматичних зонах України не проводились і потребують проведення.

Аналіз карток обліку дорожньо-транспортних пригод в різних кліматичних зонах України показав, що враховується тільки кількість і ступінь тяжкості скоєння ДТП на сухих, мокрих і слизьких покриттях. Кількість ДТП, пов'язаних з акваплануванням автомобіля, не визначено. Відмічаються тільки стан проїзної частини (суха, мокра, забруднена, засніжена), дорожні умови, що супроводжують здійснення ДТП, низькі зчипні якості покриття і незадовільний стан узбіч.

За погодно-кліматичними факторами та ґрунтово-гідрологічними умовами зволоження, територія України поділяється на чотири дорожньо-кліматичні зони. Графік розподілу ДТП в різних дорожньо-кліматичних зонах по місяцях за 2016-2017 роки наведені на рисунку 1.7.

Аналізуючи дані, наведені на рисунку 1.7, видно, що в Україні, як і в Польщі та Франції, спостерігається два піки аварійності: у серпні – 11,47 % та в жовтні – 11,14 %. А взагалі, в період з жовтня по березень включно скоюється 44 % всіх ДТП.

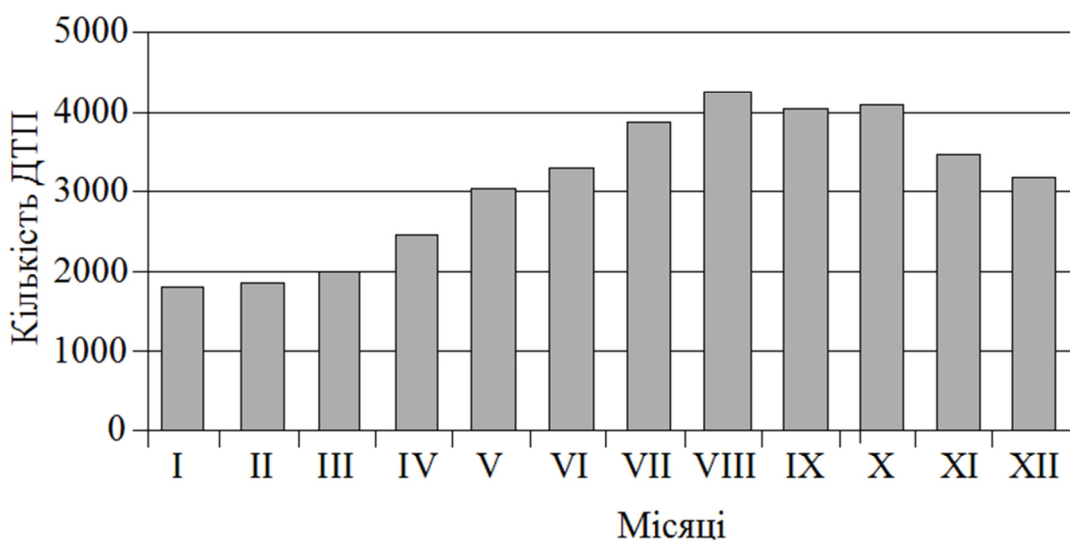


Рис. 1.7. Графік розподілу загальної кількості ДТП по місяцях за 2016-2017 рр.

За даними досліджень [29-30] на зчеплення колеса з поверхнею покриття значно впливає товщина плівки води на покритті. Зі зменшенням швидкості руху автомобіля при визначеній товщині плівки води, зчеплення значно зростає для одного і того ж протектора колеса транспортного засобу однакового ступеню зносу. Зі збільшенням зносу протектора, зменшується зчеплення при тій самій товщині плівки води. Для забезпечення безпеки руху транспортних засобів важливо, щоб шина зберігала відповідну глибину канавок, ступінь зносу і рисунок протектора за будь-яких погодних умов. При наявності на покритті шару води і швидкості руху, значно більшої ніж прийнятої для даної категорії дороги, рисунок протектора припиняє відштовхувати вологу під шиною. Втрачається контакт та зчеплення між шиною та дорогою.

У випадку, коли глибина рисунку протектора менша, ніж чотири міліметри, здатність шини тримати дорогу на вологій поверхні та протистояти акваплануванню ще зменшується. Як наслідок – значно збільшується гальмівний шлях, схильність до заносу і зростає рівень небезпеки аквапланування.

Випробування, проведені компанією Nokian Tyres, показали, що у разі зношеної шини (протектор менше 1,6 мм, товщина водяного шару на дорозі

приблизно 5 мм) аквапланування відбудеться під час виконання повороту на швидкості 76 км/год, а якщо шина нова – на швидкості 96 км/год.

Дослідження компанії Nokian (Фінляндія) проводились для розміру контактної ділянки літньої шини з різною глибиною канавок при товщині водяного шару 3 мм і швидкості руху 75 км/год. Контактна ділянка колеса автомобіля зі зношеними шинами, глибина рисунку протектора яких дорівнює 1,6 мм, складає лише 16 % від глибини рисунка протектора автомобіля, що перебуває у нерухомому стані. Результати досліджень наведені на рисунку 1.8.

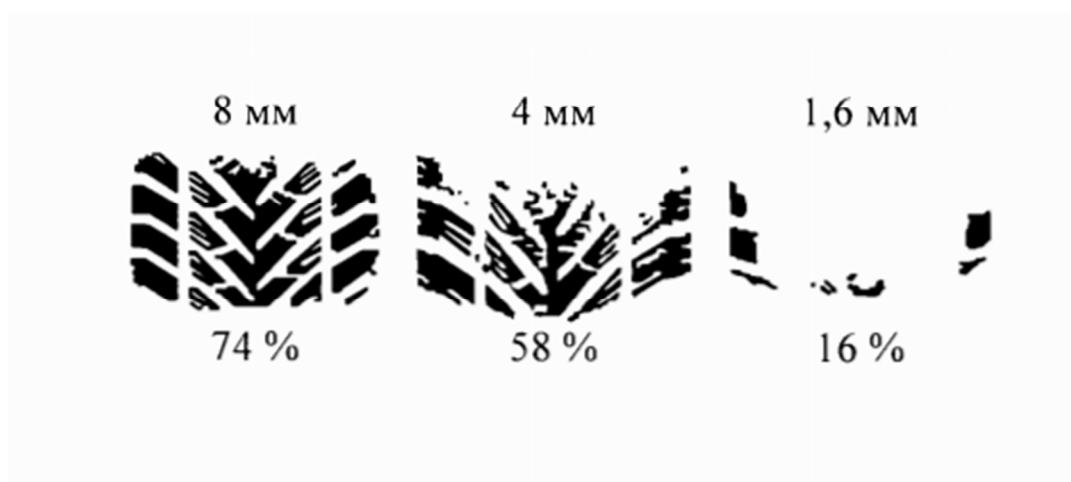


Рис. 1.8. Порівняння контактної зони літніх шин з різною глибиною канавок

Таким чином, при виявленні впливу шару води на покритті на аварійність, потрібно одночасно враховувати ряд показників: шорсткість покриття, товщину шару води, стан протектора коліс транспортного засобу і швидкість його руху. При товщині шару води більше 0,5 мм для шин із граничним зносом протектора, коефіцієнт зчеплення при швидкості руху 100 км/год і більше наближається до нуля, що відповідає початку явища аквапланування. При товщині шару води 3-4 мм аквапланування може початись і при швидкості, яка, як правило, не перевищує 50 км/год.

При наявності на покритті шару води 10 мм аквапланування легкового автомобіля виникає не тільки на шинах із граничним зносом протектора, але і при наявності висоти рисунка протектора 8 мм і швидкості 80 км/год і більше.

При русі автомобіля зі швидкістю 100-120 км/год і товщині шару води 2,5-3,8 мм можливе явище аквапланування навіть шини із незношеним протектором. Крім цього, дослідженнями [29-31] доведено, що на появу аквапланування значно впливає внутрішній тиск повітря в камері колеса. При низькому тиску (170 кПа), ДТП, що пов'язані з акваплануванням, виникають при швидкостях руху 50 км/год, а при високому тиску в шинах (250 кПа) аквапланування можливе на швидкості 80 км/год. Тобто, із збільшенням внутрішнього тиску в камері колеса зменшується ймовірність виникнення ДТП, пов'язаних із акваплануванням автомобіля. За даними Ю.В. Кузнєцова [32], внутрішній тиск повітря в камері колеса практично дорівнює тиску колеса на покриття і пропорційний масі автомобіля.

Необхідно враховувати, що основні параметри (глибина шару води, швидкість руху автомобіля, шорсткість покриття, стан протектора і тиск колеса на покриття), що призводять до підвищення рівня небезпеки аквапланування, не є постійними і змінюються як у просторі, так і у часі.

Глибина шару води залежить від геометричних характеристик покриття (поперечного і поздовжнього похилів) [33-36], а також від наявності і виду нерівностей покриття (вибоїни, колії, хвилі тощо) [37-39]. Таким чином, шар води на покритті має різну товщину в межах ділянки з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, а зміна його товщини впливає на ймовірність виникнення аквапланування і тому повинна враховуватись у вигляді статистичних параметрів (середньої товщини ( $h_{\text{сер}}$ ) і середнього квадратичного відхилення  $\sigma_h$  шару води). Крім цього, в роботі [40] встановлено, що так як рух міг відбуватись із уповільненням чи прискоренням, визначена швидкість руху автомобіля (за спідометром) встановлюється з деякою похибкою, що викликана способом вимірювання. Тому величини швидкості руху автомобілів на ділянках можливого аквапланування повинні характеризуватись середньою швидкістю  $V_{\text{сер}}$  і середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_v$  швидкостей руху по шару рідини з параметрами  $h_{\text{сер}}$  і  $\sigma_h$ .

Отже, швидкість руху автомобіля і глибину води на покритті необхідно визначати одночасно, з урахуванням щільності розподілу обох параметрів ( $V$  і  $h$ ). Те ж саме стосується інших параметрів (шорсткість покриття, стан протектора і т.д.), які необхідно враховувати при оцінці ймовірності виникнення аквапланування автомобіля.

### 1.2.2. Методи оцінювання безпеки руху автомобілів

Для оцінювання безпеки руху по дорозі з урахуванням всіх діючих факторів, особливо на ділянках з підвищеним рівнем аквапланування, рядом дослідників запропоновано використовувати такі коефіцієнти [41-47]:

- підсумковий коефіцієнт аварійності ( $K_a$ ), який враховує часткові коефіцієнти аварійності ( $K_{ar1}, K_{ar2}, K_{ar3}, \dots, K_{arn}$ ) і питому аварійність ( $A_{п}$ ), що визначає виникнення ДТП тільки на мокрому покритті та коефіцієнт зміни режимів руху ( $K_{рр}$ ) транспортних засобів, внаслідок неочікуваних, різких змін дорожньої обстановки;

- коефіцієнт забезпечення розрахункової швидкості ( $K_{р.ш.}$ );

- коефіцієнт безпеки руху ( $K_{б.р.}$ ).

Підсумковий (узагальнений) коефіцієнт аварійності ( $K_a$ ) оцінює відносну ймовірність скоєння ДТП на кожній із ділянок доріг. Підсумковий коефіцієнт аварійності вираховується як добуток часткових коефіцієнтів, що характеризують погіршення умов руху в порівнянні з двосмуговою дорогою з шириною проїзної частини 7,5 м з шорстким покриттям і укріпленими узбіччями.

Для окремих характеристик плану і профілю покриття автомобільної дороги та інших елементів дорожньої обстановки встановлюють часткові коефіцієнти аварійності ( $K_{ar}$ ). Кожний частковий коефіцієнт аварійності характеризує відносну ймовірність виникнення ДТП на досліджуваній ділянці внаслідок впливу погіршених дорожніх умов одного із елементів, що не залежить від інших чинників. Відповідно до правил теорії ймовірності, їх



спільний вплив оцінюється добутком часткових коефіцієнтів – підсумковим коефіцієнтом аварійності ( $K_a$ ):

$$K_a = \sum K_{a_i} , \quad (1.6)$$

де

$K_{a_i}$  – значення часткового коефіцієнта аварійності для  $i$ -го елемента автомобільної дороги.

Підсумковий коефіцієнт аварійності  $K_a$  враховує стан покриття і узбіч в залежності від слизькості покриття як на підході до ділянки з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, так і на ній.

Питома аварійність  $A_n$  – це кількість ДТП, що виникають тільки на мокрому покритті в залежності від інтенсивності руху і довжини ділянки дороги. Аналіз статистичних даних аварійності свідчить, що між кількістю ДТП на мокрому покритті і його шорсткістю існує складна залежність. По мірі зносу шорсткої поверхні кількість ДТП на мокрому покритті значно збільшується. Однак індекс збільшення залежить від інтенсивності і складу руху транспортних засобів. Тому згідно робіт М.В. Немчинова [23], питому аварійність необхідно визначати в перший рік служби покриття, коли поверхня має достатню мікро- і макрошорсткість, за формулою:

$$A_n = \frac{Z_{\text{ДТП}}^m \cdot 10^6}{365 L \cdot N} , \quad (1.7)$$

де  $Z_{\text{ДТП}}^m$  – кількість ДТП на мокрих покриттях;

$L$  – довжина ділянки дороги, км;

$N$  – середньорічна добова інтенсивність руху, авт/добу.

В перші п'ять років служби питома аварійність на дорогах з мокрим асфальтобетонним покриттям дуже мала. Потім кількість ДТП значно збільшується, особливо при збільшенні інтенсивності руху до 5000 авт/добу. Але при збільшенні інтенсивності до 10000 авт/добу висока завантаженість смуг призводить до зменшення швидкості до 30-40 км/год і зниження кількості ДТП внаслідок слизькості мокрих покриттів.

Коефіцієнт зміни режимів руху транспортних засобів ( $K_{pp}$ ) показує, у скільки разів збільшується кількість ДТП внаслідок необхідності різкого гальмування при русі в існуючій дорожній обстановці в порівнянні з нормативними умовами руху.

На основі аналізу підсумкового коефіцієнту аварійності і коефіцієнтів безпеки руху, був прийнятий узагальнений показник відносної небезпеки дорожньої обстановки  $Z_p$ .

Показник  $Z_p$  може бути визначений на основі відповідної статистики ДТП при встановленні функціонального зв'язку між числом ДТП ( $n_1$ ) та значенням підсумкового коефіцієнту аварійності  $A_n$   $n_1 = \varphi_1(A_n)$ , а також числом ДТП ( $n_1$ ) і значенням коефіцієнта безпеки руху ( $K_{б.р.}$ ):  $n_1 = \varphi_2(K_{б.р.})$ .

При цьому можна отримати такі залежності:

$$\frac{n_1}{n_n} = A_n^{(I)}, \quad (1.8)$$

$$\frac{n_2}{n_n} = K_{p.p.}^{(II)}, \quad (1.9)$$

Відношення (1.8) надає числове значення  $A_n$  на ділянці без різких змін дорожнього руху, а відношення (1.9) є  $K_{p.p.}$  – коефіцієнт, що враховує вплив на безпеку руху різних змін режимів руху транспортних засобів.

Таким чином, узагальнений показник відносної небезпеки дорожньої обстановки визначається за формулою:

$$Z_p = A_n \cdot K_{p.p.}, \quad (1.10)$$

Коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості ( $K_{p.ш.}$ ) О.П. Васильєв [22] запропонував визначити як відношення максимально допустимої чи безпечної швидкості руху ( $V_{ф. max}$ ) до розрахункової ( $V_p$ ):

$$K_{p.ш.} = \frac{V_{ф. max}}{V_p}. \quad (1.11)$$

Коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості враховує зміни коефіцієнта зчеплення ( $K_{зч}$ ) і коефіцієнта опору кочення ( $K_0$ ), тобто рух автомобіля по водяному шару.

Якщо розрахункову швидкість приймають 90 км/год (для дороги III технічної категорії), то значення коефіцієнта забезпеченості розрахункової швидкості становить:

$$K_{р.ш.} = \frac{V_{\phi.мах}}{90} . \quad (1.12)$$

Значення швидкості  $V_{\phi.мах}$  приймають в [22] в залежності від стану покриття і геометричних параметрів дороги.

Наприклад, максимальну швидкість на кривій в плані частіше всього встановлюють за залежністю:

$$V_{\phi.мах} = \sqrt{127 R \cdot (\varphi_2 \pm i_v)} , \quad (1.13)$$

де

$R$  – радіус кривої в плані;

$\varphi_2$  – коефіцієнт поперечного зчеплення на мокрому покритті;

$i_v$  – ухил віражу.

Величина  $V_{\phi.мах}$  залежить від величини радіусу кривих при наявності на покритті тонких плівок води ( $\varphi_2 = 0,05-0,2$ ).

Коефіцієнт безпеки руху ( $K_{б.р.}$ ) – визначає найбільш зручні умови для забезпечення безпеки і комфортності проїзду автомобілів різних марок.

Коефіцієнт безпеки руху враховує плавність траси, оптимальний варіант проектної лінії, забезпечення розрахункових швидкостей автомобілів, визначає рівень безпеки руху на небезпечних ділянках в порівнянні з безпечними підходами до них з урахуванням ТЕП покриттів.

О.П. Васильєв [22] запропонував використовувати коефіцієнт безпеки руху на спуску ( $K_{р.ш.спуск}$ ) відносно горизонтальної ділянки на підході до спуску.

Коефіцієнт розрахункової швидкості на спуску ( $K_{p.ш. спуск}$ ) визначається за формулою:

$$K_{p.ш. спуск} = \sqrt{\frac{\varphi_{\text{дїл}} + f_{\text{дїл}} - i_{\text{дїл}}}{\varphi_e + f_e}} . \quad (1.14)$$

Коефіцієнт розрахункової швидкості на підході до спуску (на горизонтальній ділянці) ( $K_{p.ш. під}$ ) визначається за формулою:

$$K_{p.ш. під} = \sqrt{\frac{\varphi_{\text{під}} + f_{\text{під}}}{\varphi_e + f_e}} . \quad (1.15)$$

У формулах (1.14) і (1.15)  $\varphi_{\text{дїл}}$ ,  $f_{\text{дїл}}$ ,  $i_{\text{дїл}}$  – значення коефіцієнтів зчеплення і опору кочення, а також поздовжнього ухилу на спуску на небезпечній ділянці;

$\varphi_e, f_e$  – значення коефіцієнтів зчеплення і опору кочення, а також поздовжнього ухилу на спуску в еталонних умовах;

$\varphi_{\text{під}}, f_{\text{під}}$  – значення коефіцієнтів зчеплення і опору кочення, а також поздовжнього ухилу на спуску на підході до небезпечної ділянки.

Коефіцієнти розрахункової швидкості при оцінюванні безпеки руху О.П. Васильєв [22] запропонував визначати за формулами:

$$K_{p.ш. під} = \frac{V_{\text{підмак}}}{V_p} , \quad (1.16)$$

$$K_{p.ш. дїл} = \frac{V_{\text{дїл мак}}}{V_p} , \quad (1.17)$$

$$V_{\text{підмак}} = K_{p.ш. під} \cdot V_p , \quad (1.18)$$

або

$$V_{\text{дїлмак}} = K_{p.ш. дїл} \cdot V_p . \quad (1.19)$$

Тоді коефіцієнт безпеки руху ( $K_{б.р.}$ ) буде дорівнювати:

$$K_{\text{б.р.}} = \frac{V_{\text{ділмах}}}{V_{\text{підмах}}} = \frac{K_{\text{р.ш.діл}} \cdot V_{\text{р}}}{K_{\text{р.ш.під}} \cdot V_{\text{р}}} = \frac{K_{\text{р.ш.діл}}}{K_{\text{р.ш.під}}} \quad (1.20)$$

де  $K_{\text{р.ш.під}}$  – коефіцієнт розрахункової швидкості на підході до ділянки з підвищеним рівнем небезпеки;

$K_{\text{р.ш.діл}}$  – коефіцієнт розрахункової швидкості на ділянці з підвищеним рівнем небезпеки;

$V_{\text{під мах}}$  – максимально допустима швидкість на підході до цієї ділянки;

$V_{\text{діл мах}}$  – максимально допустима швидкість на цій ділянці;

$V_{\text{р}}$  – величина розрахункової швидкості, км/год.

Аналізуючи дані, наведені методом оцінки безпеки руху транспортних засобів, визначають умови безпечного руху на вологих та сухих ділянках різного стану і геометричних розмірів.

Проводились дослідження щодо зменшення кількості виникнення ДТП на ділянках з підвищеною товщиною водяного шару. Визначена товщина плівки води, яка починає впливати на зчепні якості  $h_{\text{в}}=0,2$  мм, а при  $h_{\text{в}}=0,5$  мм і швидкості руху 100-120 км/год зчеплення майже відсутнє (вода динамічно тисне на шину і починається ковзання колеса по шару води).

Встановлено, що методика, яка визначатиме попередження можливості появи аквапланування автомобіля при негативних погодно-кліматичних факторах, повинна враховувати такі параметри:

$V$  – швидкість руху;

$h$  – глибину шару води;

$\Delta$  – середню висоту виступів шорсткості;

$P_{\text{ш}}$  – тиск повітря в шині;

$\rho$  – щільність води;

$n_1$  – ступінь збільшення глибини води перед колесом;

$b$  – ширину протектора колеса;

$F$  – силу гідродинамічного тиску;

$\beta$  – кут спливання колеса;

$r_k$  – радіус обтисненого колеса;

$a$  – інтенсивність дощу;

$L$  – довжину ділянки стоку води;

$n$  – коефіцієнт шорсткості дорожнього покриття.

Але, на жаль, в наш час розробленої методики попередження появи аквапланування на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки не існує. Крім цього, в наведених параметрах не відображені показники ТЕП (крім шорсткості) і не наведені дані щодо влаштування дорожнього одягу такої конструкції, яка б попереджувала появу аквапланування автомобілів.

Ці питання знайшли відображення в дисертаційному дослідженні.

### **1.3. Обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки**

#### **1.3.1. Переваги використання покриття із пористого асфальтобетону для забезпечення відведення води з проїзної частини**

В даний час найбільш поширеним матеріалом для улаштування удосконалених покриттів доріг вищих категорій є асфальтовий бетон [48-66].

В США та країнах Європи вони складають більше 90 % від загальної протяжності доріг, по яких перевозиться більше 40 % вантажів.

В Україні теж дороги I-II технічної категорії влаштовані на 97 % з асфальтобетонним покриттям, завдяки цілому ряду переваг присутніх цьому матеріалу. Це висока ремонтоздатність, безшумність, безпильність, технологічність.

Зазвичай, у верхніх шарах дорожньої конструкції використовується гарячий щільний дрібнозернистий асфальтобетон типів «А» та «Б», властивості якого відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119-2011 [55].

Гарячий асфальтобетон (асфальтобетона суміш) містить в'язуче – бітум марок БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60 та укладається за температури 140-160 °С. Формування структури закінчується після ущільнення котками.

За крупністю скелетних фракцій асфальтобетони поділяються на крупнозернисті, що містять фракції щебеню від 20 до 40 мм, дрібнозернисті 10-20 мм і піщані 0-5 мм.

За пористістю (щільністю) – залишковою пористістю асфальтобетони поділяють на щільні (об'єм пор – 3-5 %), пористі (об'єм пор – 5-10 %) і високопористі (об'єм пор – 3-5 %).

Асфальтобетон характеризується значною міцністю, водонепроникністю, водостійкістю, здатністю до пружних і пластичних деформацій, що забезпечує дорожньому покриттю еластичність, шорсткість і високе зчеплення з автомобільними шинами.

Дослідженнями Г.К.Сюньї, Л.Б. Гезенцевя, М.В. Горелишева, І.В. Корольова, В.О. Золотарьова, А.О. Белятинського, К.В. Краюшкіної та інших [54, 56-59] доведено, що при об'єднанні бітуму з мінеральними складовими щебенем і піском відбувається взаємодія між цими компонентами з протіканням складних фізико-хімічних міжмолекулярних явищ, які виявляються не тільки при приготуванні суміші, а й при експлуатації покриття. Ці явища дозволяють щільному асфальтобетону протистояти дії атмосферних опадів, дощу, снігу при таненні, випаровуванню, зберігати шар води на покритті, не дозволяючи йому просочитись у нижчерозташовані шари дорожнього одягу.

В результаті водостійкості щільного асфальтобетону, на ділянках доріг з невідповідними геометричними параметрами, складними умовами рельєфу місцевості і значною кількістю опадів, автомобільний транспорт піддається акваплануванню. Це призводить до незабезпечення безпеки і комфортності дорожнього руху, появи ДТП зі складними наслідками і взагалі переривання руху.

Для попередження явища аквапланування актуальним є питання використання на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки дренуючого покриття із пористого асфальтобетону, який має здатність вбирати в себе воду, сприяючи швидкому осушенню поверхні і попередженню виникнення застою води на покритті після дії атмосферних опадів.

Пористий (дренуючий) асфальтобетон (залишкова пористість  $>10\%$ ) – це штучний будівельний конгломерат, який являє собою суміш мінеральних матеріалів (щебеню, піску і мінерального порошку) з бітумом у зменшеній кількості і виготовлений у визначених технологічних режимах, може бути укладений і ущільнений у верхніх шарах дорожнього одягу, на ділянках автомобільних доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування. Пористий асфальтобетон призначений для швидкого відведення води з поверхні дороги.

В США пористий (дренуючий) асфальтобетон отримав назву «Open graded friction course (OGFC)» і використовується вже більше 60 років. Ці суміші були розроблені для підвищення рівня безпеки на дорогах в районах з підвищеною кількістю атмосферних опадів. Підбір суміші використовувався таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється значно швидше ніж з покриття із щільних сумішей. Це досягається за рахунок особливостей гранулометричного складу суміші, значну долю в якій складає одномірний щебінь.

Значно ширше пористий (дренуючий) асфальтобетон почав використовуватись в США з 1980 років, коли почала діяти програма федерального дорожнього агентства (FHWA) по боротьбі із заносами на дорогах.

FHWA разом з Національним центром досліджень асфальту (NCAT) розробили гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей та визначили оптимальну кількість в'язучого.

ASTM D6932/D6932 M регламентує улаштування верхніх шарів зносу із пористих (дренуючих) асфальтобетонів для підвищення безпеки руху і попередження явища аквапланування автомобілів.



Для підвищення корозійної стійкості дренуючого асфальтобетону рекомендується введення адгезійних добавок до бітуму. Для підвищення шорсткості поверхні покриття і ТЕП можливо додавання волоконних добавок різних видів (дисперсне армування асфальтобетонної суміші).

Крім США активне використання пористого (дренуючого) асфальтобетону проводилось в інших країнах – Японії, Великобританії, Нідерландах, Франції, Німеччині. На відміну від дренуючих асфальтобетонів, що використовують в США, в Європі ці матеріали мають пористість 18-22 % (в США 15-16 %) і вимагають обов'язкового застосування полімерно-бітумного в'язучого.

В результаті накопиченого досвіду був розроблений нормативний документ EN 13108-7 *Offenporier Asphalt für Straßen und Verkehrsflächen*, де наведені загальноєвропейські вимоги до складу і властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону.

Згідно цього документу, пористість визначена в межах 24-28 %, мінімальний вміст в'язучого бітуму 5,5-6,5 % в залежності від максимального розміру зерен щебеню не більше 20 мм. Рекомендується застосування модифікованого бітуму і целюлозного волокна як армуючої добавки.

В країнах ближнього зарубіжжя – Росії та Білорусі теж проводились роботи по використанню пористого (дренуючого) асфальтобетону у верхніх шарах покриття та основі дорожнього одягу [67-70].

Були розроблені вимоги до зернового складу і кількості бітуму, які наведені в таблиці 1.3.

Проведені дослідження свідчать, що використання пористих сумішей запропонованих зернових складів дозволяє отримати дренуючий асфальтобетон каркасної структури із властивостями, які відповідають щільному асфальтобетону.

Вимоги до фізико-механічних властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону наведені в таблиці 1.4.

Одним із головних показників тут є визначення коефіцієнту заповнення пор бітумом ( $K_{зп}$ ), який є показником структури асфальтового бетону.

Таблиця 1.3

**Вимоги до зернового складу і кількості в'язучого пористого асфальтобетону**

Асфальтобетонні суміші	Вміст зерен мінерального матеріалу, % дрібніше, мм												Орієнтовна витрата в'язучого (понад 100 %)
	40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,68	0,31	0,14	0,07	
Крупнозернисті	95-100	76-92	68-88	58-82	47-74	30-65	24-50	17-38	12-28	7-17	4-8	2-6	2,5-3,5
Середньозернисті	-	95-100	95-100	72-90	58-60	35-65	24-50	17-38	12-28	7-17	4-8	2-6	2,5-3,5
Дрібнозернисті	-	-	-	95-100	63-85	35-65	24-50	18-38	12-36	8-22	4-15	2-8	2,5-4
Дрібнозернисті дроблені	-	-	-	-	100	83-83	68-83	45-67	28-50	18-33	10-20	4-8	3,0-4,5
Піщані з природного піску чи природні дроблені	-	-	-	-	-	95-100	74-93	53-86	37-75	22-58	12-35	4-8	3,0-4,5

Таблиця 1.4

**Показники фізико-механічних властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону**

Найменування показників	Значення показників для асфальтобетону	
	зернистого	піщаного
Пористість мінерального остова, % за об'ємом	16-22	<25
Коефіцієнт заповнення пор мінерального остову бітумом	0,35-0,37	0,30-0,35
Водонасичення, % за об'ємом	8,0-14,0	12,0-18,0
Набрякання, % за об'ємом, не більше	2,0	2,0
Границя міцності при стиску, Па (кгс/см <sup>2</sup> )	12·10 <sup>5</sup> (12)	15·10 <sup>5</sup> (15)

При отриманні визначених значень  $K_{зч}$ , забезпечується постійний обсяг вільного бітуму в суміші при будь-якій щільності мінерального кістяка. Це забезпечує каркасність структури, нормативну міцність і довговічність асфальтобетону при експлуатації.

Дослідженнями С.Є. Кравченко [68] визначено, що для об'єктивної оцінки якості пористого крупнозернистого асфальтобетону необхідно розробити вимоги до показника міцності при 50 °С, який характеризує зсувостійкість покриття під дією високих літніх температур.

Білоруськими вченими [68-70] визначено, що для верхнього шару покриття краще всього використовувати пористий асфальтобетон, що вміщує:

- щебеневі матеріали фракцій: 20-40 мм – 20 % за масою; 5-20 мм – 25 % за масою;

- гранітний відсів дроблення: 0-5 мм – 35 % за масою;

- бітум БНД 70/100 4,0-4,5 % (понад 100 % суміші).

Така суміш забезпечує щільність в межах 2,49-2,51 г/см<sup>3</sup> і водонасичення (W1) 5,0-5,8 %, тобто наближається до показника водонасичення для щільних асфальтобетонів (W) 3,0-3,5 згідно ДСТУ Б В.2.7-119. Зсувостійкість пористого асфальтобетону вищевказаного складу визначається міцністю при стиску при 50 °С, яка знаходиться в межах 0,92-1,23 МПа, тобто коливання вмісту мінеральних складових можливе в межах 5-10 % за масою.

Улаштування асфальтобетонного покриття підібраного складу забезпечує високі транспортно-експлуатаційні показники асфальтобетонному покриттю і забезпечує відведення води в умовах підвищеного зволоження.

В Україні вчені Г.К. Сьоньї, М.І. Волков, І.М. Борщ, І.В. Корольов, В.О.Золотарьов, В.В. Мозговий [71-76] теж проводили дослідження (теоретичні і практичні) щодо визначення можливості улаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону.

Було визначено, що мінеральні зерна в асфальтобетонній суміші вкриті шаром бітуму, при ущільненні утворюють конгломератну трьохфазну систему – мінеральний остов, бітум, повітря. Повітря знаходиться в міжзерновому

просторі, не заповненому бітумом та в пустотах мінеральних зерен. Ці простори не заповнені бітумом, а заповнені повітрям і є залишковою або сумарною пористістю.

Взагалі, асфальтобетон являє собою систему структурних елементів різних величин, що обумовлює наявність пор різного розміру – диференціальна пористість [54,77-80]. Умовно наявні пори в асфальтовому бетоні можна поділити на три групи в залежності від розміру:

- мікропори радіусом до 50 А;
- перехідні пори радіусом 50 А – 500 А;
- субмакропори радіусом 500 А – 3 μ;
- макропори радіусом 3 μ- 50 μ,

де

$$A = 10^{-8} \text{ см, а } \mu = 10^{-4} \text{ см.}$$

Але на основні характеристики асфальтобетону – міцність і водостійкість не впливає розмір пор. Їх значення залежать тільки від величини сумарної пористості.

Це пояснюється тим, що при збільшенні кількості бітуму в суміші, наприклад, від 10 до 11,5%, кількість мікропор зменшується, а вміст перехідних пор зростає. Міцність асфальтобетону теж зростає. Однак збільшення міцності ніяк не означає, що всі пустоти мінерального остова заповнені бітумом: з 28,5 % пустот мінерального остова 1/3 залишається незаповненими і складаються із перехідних пор, які вміщуються в мінеральних зернах і субмакропор, що знаходяться у між зерновому просторі.

Це відбувається внаслідок різниці температур приготування суміші ( $t=160$  °С), укладання ( $t = 120-130$  °С), при якій бітум зменшується в обсязі і відбувається втягування повітря при перемішуванні суміші.

В результаті проведених досліджень була визначена оптимальна кількість мінеральних складових і бітуму в пористому асфальтобетоні.

В Україні згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-119 дренуючий асфальтобетон поділяється на марки:

- пористий, із залишковою пористістю від 5 до 10 % (П);
- високопористий, із залишковою пористістю від 10 до 15 % (ВП).

За вмістом щебеню і піску пористий має тип А-Б від 35 до 73 % мінеральних складових, високопористий має тип А-Б, Д, від 35 до 70 % мінеральних складових.

Пориста і високопориста асфальтобетонна суміш гаряча (АСГ) має марку І і ІІ. Для приготування асфальтобетонної суміші пористої і високо пористої використовується бітум в'язкий марки БНД 90/130.

Вимоги до зернового (гранулометричного) складу пористого асфальтобетону і фізико-механічних властивостей відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2011 наведені в таблицях 1.5-1.6.

Таблиця 1.5

### Зерновий склад пористої асфальтобетонної суміші

Група а/б	Різновид грануло- метрії	Тип грану- ло- метрії	Вид	Вміст за масою, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм											
				40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,31	0,14	0,071
				Пори- стий	Непере- ривчас- тий	А-Б	Кр.	100-95	99-97	97-70	94-57	76-45	65-27	50-18	38-10
А-Б	Др.	-	-			100-70	95-57	76-45	65-27	50-18	38-10	28-7	22-4	15-3	8-2
Пере- ривчас- тий	А-Б	Кр.	100-95		99-96	96-65	92-54	88-42	65-30	62-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2
	А-Б	Др.	-		-	100-65	100-54	88-42	65-30	65-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2

Незважаючи на проведені дослідження і розроблену нормативну документацію, пористий (дренуючий) асфальтобетон не знайшов широкого

застосування на дорогах України, навіть на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.

Таблиця 1.6

**Фізико-механічні вимоги до пористого і високопористого асфальтобетону**

Назва показників	Норма для асфальтобетону марок	
	I	II
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для асфальтобетону:		
пористого щебеневого і піщаного, не більше	23	23
високопористого щебеневого, не більше	24	24
високопористого піщаного, не більше	-	28
2. Залишкова пористість, % за об'ємом, для асфальтобетону:		
пористого, не більше	10	10
високопористого, не більше	15	15
3. Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °С:		
пористого, не більше	1,8	1,5
високопористого, не більше	1,4	1,2

Цей тип асфальтобетону має такі переваги: високі зчіпні характеристики за рахунок збільшеної кількості щебених фракцій, водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води та кількість бризок води при дощовій погоді. Це призводить до зниження рівня небезпеки аквапланування та підвищення безпеку руху.

Крім цього, шорстка текстура поверхні пористого асфальтобетону дозволяє знизити рівень шуму, який виникає при взаємодії шини колеса з покриттям.

Однак, пористий асфальтобетон має ряд недоліків. Висока пористість є причиною зниженої міцності, прискореного старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні, оскільки кисень має доступ до більшої площі поверхні суміші, більш швидкого заморожування нижчерозташованих шарів. Цей тип асфальтобетону не має тих теплоізоляційних властивостей, які має покриття із щільних сумішей. При зимовому утриманні на покриттях із пористого асфальтобетону не бажано використовувати за піщано-соляну суміш та технічну сіль у чистому вигляді для ліквідації ожеледиці, тому що це призведе до засмічення пор і проникнення хлоридів у нижчерозташовані шари дорожньої конструкції.

Але сьогодні в Україні в достатній кількості є матеріали, які дають можливість застосувати пористий асфальтобетон підвищеної міцності. Це добавки до бітуму різних видів (адгезійні, модифікуючі, полімерні), які підвищують його довговічність. Для зимового утримання існує цілий перелік хімічних реагентів, які не допускають утворення ожеледиці і попереджають появу зимової слизькості. Але головне те, що з початку 90-х років в дорожній галузі широко використовуються геосинтетичні матеріали (ГМ) в різних шарах дорожніх конструкцій.

Геосинтетичні матеріали укладаються між шарами дорожньої конструкції як армуючі, капілярперериваючі, дренаючі, розділюючі та укріплюючі прошарки.

Для відведення поверхневої води на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, яка крізь пори пористого (дренуючого) асфальтобетону просочується в нижче розташований шар покриття і далі в товщу дорожнього одягу, попередження вологонакопичення в конструкції дорожнього одягу, збільшення міцності і довговічності, в роботі пропонується укладання під верхній шар покриття суцільного тканого геосинтетичного прошарку - базальтового суцільного полотна, просоченого полімерною речовиною, марки ПСБ-Д (просочене).

Така конструкція, запропонована автором, розроблена вперше, пройшла виробничу апробацію і зарекомендувала себе як ефективна для відведення поверхневої води з проїзної частини дороги, попередження появи аквапланування автомобілів.

Укладене базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене) є в значному ступені додатковим конструктивним шаром, який підвищує опір навантаженням від рухомих автомобілів і сприяє рівномірному розподілу напружень, тобто покращенню напружено-деформованого стану всієї дорожньої конструкції [81-94].

### **1.3.2. Обґрунтування вибору базальтового полотна для улаштування водовідвідного і армуючого прошарку у запроєктованій конструкції дорожнього одягу**

Геосинтетичні матеріали (ГМ) – це матеріали, які використовуються в контакт з асфальтобетонними або нижчерозташованими шарами дорожнього одягу, виготовлені з полімерів різних типів, базальту або скловолокна та виконують функції армування, фільтрування і дренажування.

Властивості геосинтетичних матеріалів повинні відповідати вимогам ГБН В.2.3-37641918-544:2014 [82].

На ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування з улаштованим покриттям із пористого (дренуючого) асфальтобетону, геосинтетичні матеріали використовуються для водовідведення на укисну частину поверхневої води з проїзної частини через шар покриття, забезпечуючи тим самим очищення її від надлишкової води та забезпечення безпеки руху транспортних засобів.

Одночасно такий прошарок виконує функцію армування (підсилення) дорожнього одягу.



Армований дорожній одяг являє собою композиційну конструкцію, в якій суміщуються характерні позитивні властивості двох різних матеріалів – асфальтобетону і геосинтетичного матеріалу.

Взагалі, ГМ – загальна класифікаційна термінологія для всіх видів матеріалів із штучної чи природної сировини, які використовуються в дорожньому, аеродромному будівництві та інших галузях.

Цей термін включає:

- геотекстильні матеріали: неткані водонепроникні суцільні полотна; ткані водонепроникні, не оброблені полімерним в'язучим або водонепроникні, оброблені полімерним в'язучим, суцільні полотна.

Неткані полотна отримують в результаті скріплення синтетичних волокон (путанки), укладених по площинах одна на одній елементарними нитками. Скріплення може бути механічним – голколпробивне (проколювання чи прошивання) та термоз'єднання адгезійним чи когезійним (за допомогою клейкої речовини).

Геотекстильні полотна ткані виготовляються на ткацьких станках методом складання схрещених під прямим кутом полімерних або базальтових ниток. Вони розрізняються по вигляду ниток (кручена, вузькі смужки, зрощена нитка). За необхідності, додатково можуть скріплюватися місця поєднання ниток. Для забезпечення водонепроникності виконується просочення розчинами полімерів.

До геосинтетичних матеріалів належать: сітки просочені, плетені, в'язані, екструзійні та сітки з підкладкою – композиційні матеріали, сітчасті смуги (шириною до 1 м), стрічки, георешітки – плоскі та об'ємні (модульні, сотові);

До гідроізоляційних матеріалів належать: водонепроникні чи із незначним ступенем водонепроникності, бентонітові композити, геопластик із полімерного матеріалу.

До геосіток належать виготовлені з синтетичних волокон чи пластмас кришталеві структури з різними вузловими з'єднаннями і шириною отворів

більше 10 мм для застосування з тією ж метою. Розрізняють такі види геосіток: плетені, в'язані, укладені.

Сітка плетена – це сітка з отворами від 10 до 40 мм. Сітка в'язана виготовляється з синтетичних стрічок. В стрічках пробиваються отвори, розтягуються в одному чи обох напрямках (вздовж і впоперек). При витягуванні полімерні молекули орієнтуються в напрямку розтягування. При цьому міцність в напрямку розтягування збільшується, а подовження зменшується. Вузлові пункти не зміщуються, завдяки чого відбувається передача силового фактора між поздовжніми та поперечними перемичками.

Штаповані сітки виготовляються із полімерних листів шляхом продавлювання отворів розміром 10-20 мм.

Сітчасті смуги, стрічки розглядаються як сіткоподібні вироби. Стрічки можуть складатися, наприклад, із зєднаних смужок, а також об'єднаних між собою на одному рівні шарів ниток, зафіксованих полімерною оболонкою.

Георешітки мають розмір отворів від 70 до 100 мм.

Композиційні матеріали являють собою сітку чи решітку з об'єднаних в площини з нетканим полотном товщиною не більше 1-2 мм (підложка). На основі досліджень А.О. Белятинського, К.В. Краюшкіної, В.К. Вирожемського, А.А. Рибальченко, В.Й. Заворицького та інших [5-6, 77, 84, 94] була розроблена класифікація геосинтетичних матеріалів, що наведена на рис. 1.9 – 1.10.

Для раціонального вибору необхідно враховувати фізико-механічні характеристики геосинтетичних матеріалів, їх стійкість до впливу місцевих природно-кліматичних умов та до дії транспортних навантажень. Характерні особливості ГМ і галузі їх використання наведені в таблиці 1.7. Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1.7, видно, що для відведення зайвої кількості води, що з'являється під час опадів – дощу та снігу з одночасним армуванням дорожнього одягу, найбільш підходить тканий просочений водонепроникний геотекстильний матеріал, а саме: базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене).

В Україні є значний досвід використання ГМ, виготовлених із базальтової сировини шляхом плавлення гірської породи – базальту.

Роботи щодо дослідження і використання ГМ на основі базальтового безперервного волокна (ББВ) активно проводились з 1999 року ДП «ДерждорНДІ», НДІ Склопластиків і волокна, смт. Буча, НДІ Будівельних конструкцій тощо. Цими установами рекомендувались базальтові матеріали для укладання як армуючі, дренажні та розділюючі прошарки при реконструкції таких важливих об'єктів як автомобільні дороги Київ-Одеса, Київ-Чоп, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Бориспіль» тощо.

Відомо [89-94], що ББВ мають високі міцнісні характеристики, хімічну та термічну стійкість, морозостійкість. Використання таких матеріалів дає можливість забезпечити високу адгезію до нижче розташованого шару, стійкість дорожніх покриттів із пористого асфальтобетону до дії навантажень, забезпечить відвід води, що буде просочуватись при випаданні дощу, тобто довговічність протягом міжремонтного терміну служби покриття.

Результатом виконаних досліджень було виготовлення на заводі Теплозвукоізоляції суцільного базальтового полотна марки ПСБП-Д (полотно суцільне базальтове дорожнє) просочене полімерним в'язучим, вимоги до якого наведені в ТУ У 600209775.070 та полотно ПБ-550 (ниткопрошивне, полотно базальтове щільністю 550 г/м<sup>2</sup>) для будівництва доріг в складних геологічних умовах (болотиста місцевість, зсувні ділянки тощо).

На ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування рекомендується до використання полотна марки ПСБ-Д (просочене).

Основні технічні характеристики ПСБ-Д наведені в таблиці 1.8.

Базальтове суцільне полотно ПСБ-Д (просочене) використовувалось для підсилення шарів основи нежорсткого дорожнього одягу на дорогах Київ-Одеса, Київ-Харків-Довжанський для розділення шарів основи і ґрунту земляного полотна автомобільної дороги Львів-Чоп, Кіпті-Глухів-Бачівськ, при капітальному ремонті автомобільної дороги Львів-Чоп та на інших об'єктах.

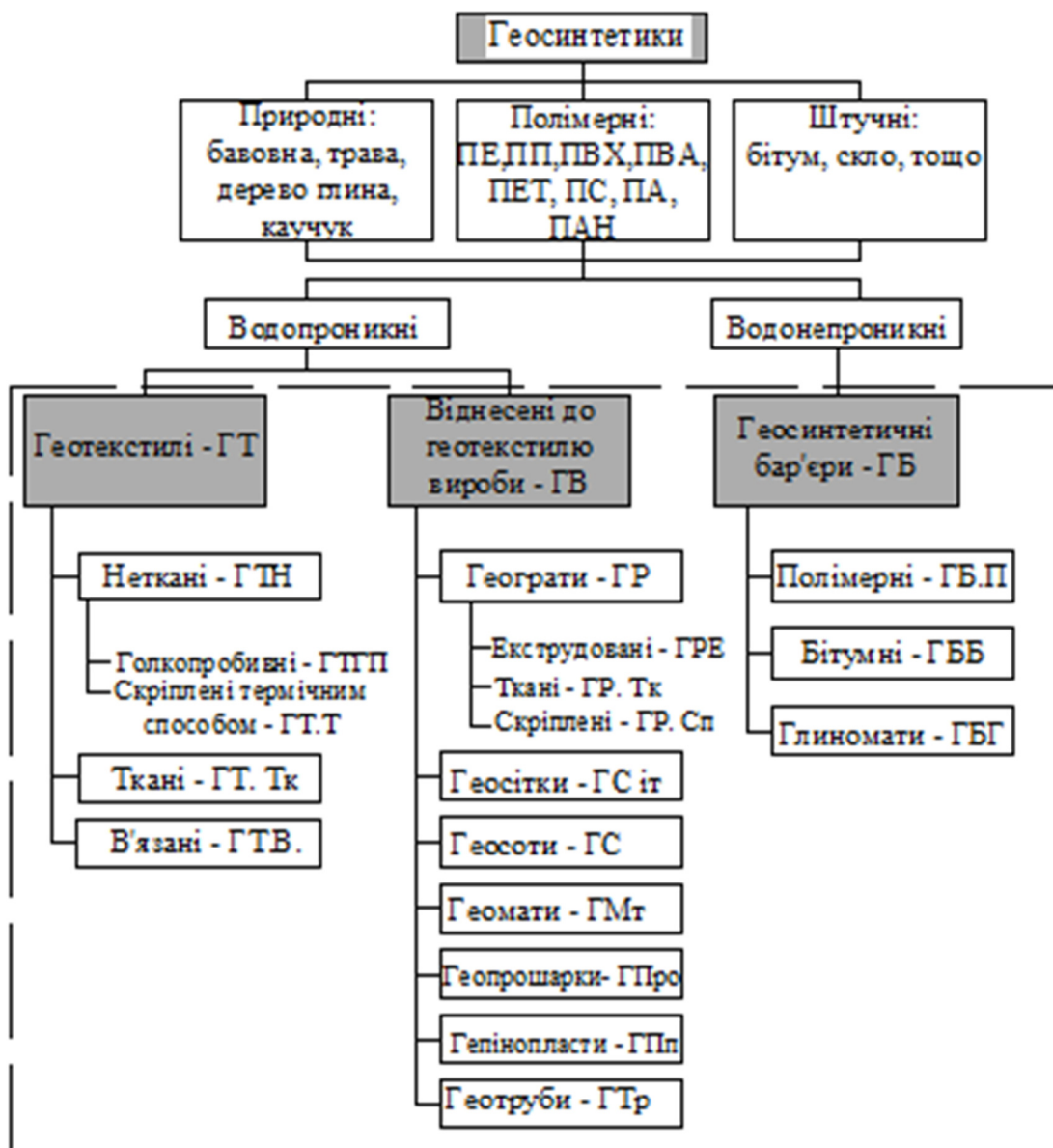


Рис. 1.9. Класифікація геосинтетичних матеріалів (ГМ)

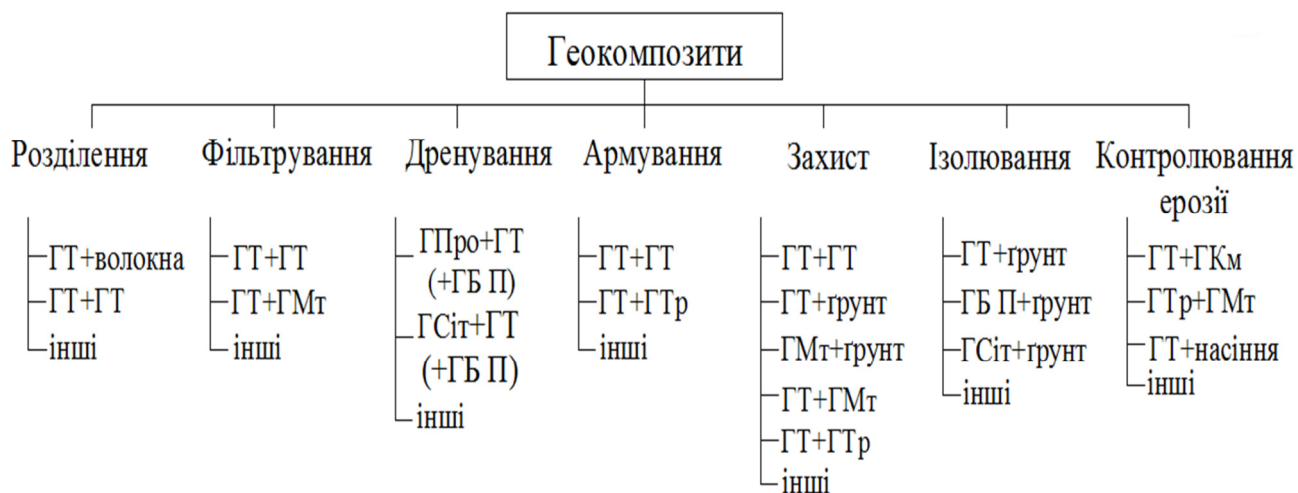


Рис. 1.10. Функції геокомпозитів

Таблиця 1.7

## Фізико-механічні властивості ГМ і галузі їх використання

Вид ГМ	Вихідний матеріал	Галузь використання	Показники фізико-механічних властивостей
Геотекстильні полотна неткані механічно скріплені	Поліпропілен, полієфір, полівініл-хлорид	В нижніх шарах дорожньої конструкції, як розділюючі прошарки, дренаючі, фільтруючі, захист від кольматації	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності
Термоскріплені	Поліпропілен	Армування верхніх шарів основи, відкосів насипів, водовідведення	Міцність при проколюванні конусом, ефективна пористість, хімічна стійкість, щільність, товщина
Геотекстильні полотна ткані просочені (водонепроникні)	Полієфір, поліпропілен, базальт (волокно)	Армування верхнього шару покриття і основи, укріплення відкосів насипів, водовідведення з проїзної частини для запобігання акваплануванню	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості, хімічна стійкість, щільність, адгезія до асфальтобетону
Сітки плетені, в'язані, екструзійні, просочені	Поліпропілен, полієфір, поліамід, скло, базальт (волокно)	Армування всіх шарів дорожнього одягу, улаштування спайних ростверків, захист від відображених тріщин	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості
Сітчасті смуги	Поліетилен, поліпропілен, поліамід, базальт		Хімічна стійкість, щільність, коефіцієнт зовнішнього тертя

## Закінчення таблиці 1.7

Георешітки плоскі	Поліетилен, поліпропілен	Укріплення відкосів насипів, виїмок на підходах до штучних споруд, армування верхніх шарів дорожніх конструкцій, влаштування дренажів всіх типів	Міцність при розриві, міцність стиків, морозостійкість і хімічна стійкість
Георешітки об'ємні, модульні, сотові	Поліетилен, поліпропілен		
Гідроізоляційні матеріали	Поліпропілен, бентоніт та інші вироби плоскої форми	Улаштування повністю водонепроникних елементів, геотехнічних та дорожніх конструкцій	Водонепроникність, міцність при розриві, відносне подовження при розриві, товщина, щільність

Таблиця 1.8

## Технічні характеристики полотна базальтового ПСБ-Д

Найменування характеристик ПСБ-Д (просочене)	Показники
Розривне навантаження, МПа	
по ширині	120,0
по довжині	120,0
Щільність, г/см <sup>3</sup>	250 ±10
Подовження при розриві під дією навантаження, %	2,5-3,0

Важливим об'єктом, де використовувався цей матеріал, була дорога об'їзд м.Чернівці, для розділення шарів основи (піщано-гравійної суміші) і ґрунту земляного полотна (суглинки легкі перезволожені).

У зв'язку з складними ґрунтово-гідрологічними умовами, наявністю водостоків та глинистих ґрунтів, високим ухилом до 70 промілей, висотою

насипу до 9 м, глибиною виїмки 6 м ДП «ДерждорНДІ» було рекомендовано використовувати тільки ткані геотекстильні матеріали, які в порівнянні з нетканими мають високу розривну міцність, низьке подовження при розриві і меншу деформативність.

При розділенні шарів, армуванні з одночасним покращенням умов дренажу ПСБ-Д укладали на всю ширину із загином (в обойму), смуги матеріалу у виїмку укладались поперечно на всю глибину з перекриттям смуг на 20 см без виводу на відкисну частину. Роботи проводились в 2009-2010 роках. На сьогодні стан автомобільної дороги обхід м.Чернівці з ПСБ-Д (просочене) задовільний.

Досвід експлуатації свідчить, що армування шарів дорожнього одягу ПСБ-Д (просочене) позитивно впливає на транспортно-експлуатаційний стан покриття, відсутня колійність, вибоїни, уповільнюється процес появи і розвитку тріщин.

Враховуючи позитивний досвід використання ПСБ-Д (просочене), вирішено використати цей матеріал для відведення поверхневої води на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування транспортних засобів. Укладання ПСБ-Д під шар пористого асфальтового бетону використовується вперше.

### **Висновки до розділу 1**

1. Проведений аналіз існуючих методів оцінки безпеки руху автомобілів по дорозі показав, що для попередження зниження зчеплення шини колеса з покриттям і запобігання появи аквапланування, при дії негативних погоднокліматичних умов, необхідно враховувати цілий ряд факторів.

2. Наведена класифікація факторів, які визначають зчеплення колеса з поверхнею проїзної частини в підсистемі «Дорога-Середовище-Автомобіль», обґрунтовані основні параметри асфальтобетонного покриття, від яких залежить значення коефіцієнта зчеплення.

3. Для розробки теоретичної моделі, яка б дала можливість попередження появи аквапланування автомобілів на відрізках доріг з підвищеним рівнем

небезпеки аквапланування, необхідно враховувати швидкість руху автомобіля вже з початку аквапланування в залежності від ступеню глибини води перед колесом.

4. Для вивчення особливостей експлуатації автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування основними транспортно-експлуатаційними показниками повинні бути рівність, коефіцієнт зчеплення і міцність дорожнього покриття.

5. Улаштування раціональної конструкції нежорсткого дорожнього одягу з використанням сучасних матеріалів – пористого асфальтобетону і базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) дозволить забезпечити своєчасне відведення води з поверхні проїзної частини і попередити появу аквапланування на складних ділянках доріг.

6. Проектування ділянок автодоріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування необхідно виконувати з урахуванням технічної доцільності і економічної ефективності вибраного рішення.



## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ АВТОШЛЯХІВ НА ВІДРІЗКАХ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ АКВАПЛАНУВАННЯ

#### 2.1. Математична модель оцінки виникнення аквапланування автомобілів

Моделювання виникнення аквапланування автомобілів проводилось з урахуванням дії погодно-кліматичних факторів, фізичних процесів, що відбуваються на покритті при наявності шару води і визначенням критичної швидкості транспортного засобу по мокрому покриттю.

Під ризиком виникнення аквапланування  $R_A$  розуміється ймовірність появи цього явища на ділянках доріг з незабезпеченим водоведенням, якщо покриття вкрите шаром рідини товщиною, достатньою для спливання передніх коліс автомобілів.

Враховуючи те, що аквапланування пов'язане із змінами швидкості руху автомобілів, ризик виникнення цього процесу або ризик початку аквапланування можна виразити у вигляді:

$$R_A = \frac{n_v}{N_v}, \quad (2.1)$$

де

$R_A$  – ризик виникнення аквапланування;

$n_v$  – кількість автомобілів, що потрапили в режим аквапланування;

$N_v$  – загальна кількість автомобілів, що рухалися по дорозі зі швидкістю, яка дорівнює критичній  $V=V_{кр}$ ;

Критична швидкість  $V_{кр}$  – це швидкість, коли питомий гідравлічний тиск на шину колеса автомобіля в межах змоченої поверхні дорівнює питомому тиску в зоні безпосереднього контакту колеса з покриттям:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2 p \Delta \alpha}{\pi \rho n_1 h}} , \quad (2.2)$$

де

$p$  – середній питомий тиск в зоні безпосереднього контакту шини з покриттям;

$\Delta \alpha$  – середня довжина змоченої поверхні шини колеса автомобіля, що рухається з відповідною швидкістю;

$\rho$  – щільність рідини;

$n_1$  – ступінь збільшення глибини шару води перед колесом автомобіля;

$h$  – глибина шару води, що здійснює гідродинамічний тиск на шину колеса.

Відомо, що ризик виникнення аквапланування тісно пов'язаний зі щільністю розподілу шару рідини на покритті особливо на ділянках з незабезпеченим водовідведенням [21, 95, 96].

Так, щільність розподілу глибини шару рідини на ділянках з незабезпеченим водовідведенням  $f(h_i)$  залежить прямо пропорційно від щільності розподілу критичних глибин шару рідини  $f(h_{кр})$ , за яких відбувається спливання передніх коліс автомобіля.

Якщо переміщення  $f(h_i)$  відбувається у напрямку до  $f(h_{кр})$ , то ризик спливання автомобіля і область ризику виникнення аквапланування  $S$  збільшуються. Інтервал між математичним очікуванням розподілу глибин зменшується. Залежність зміни щільності розподілу параметрів глибин шару рідини на покритті наведена на рисунку 2.1– 2.4.

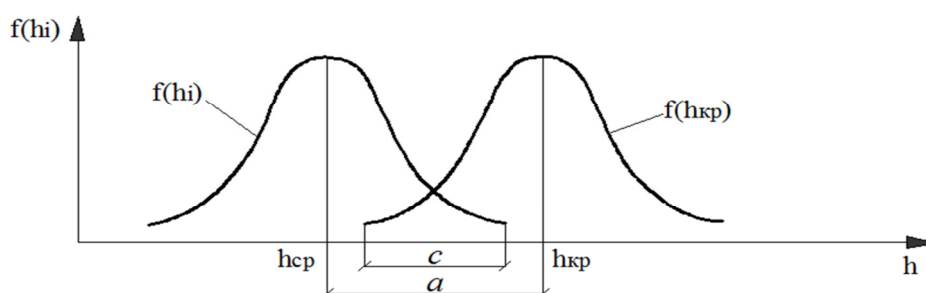


Рис. 2.1. Щільності розподілу середньої та критичної глибин шару рідини на покритті та області ризику виникнення аквапланування при  $R_A$  – незначному,  $S$  – найменшій

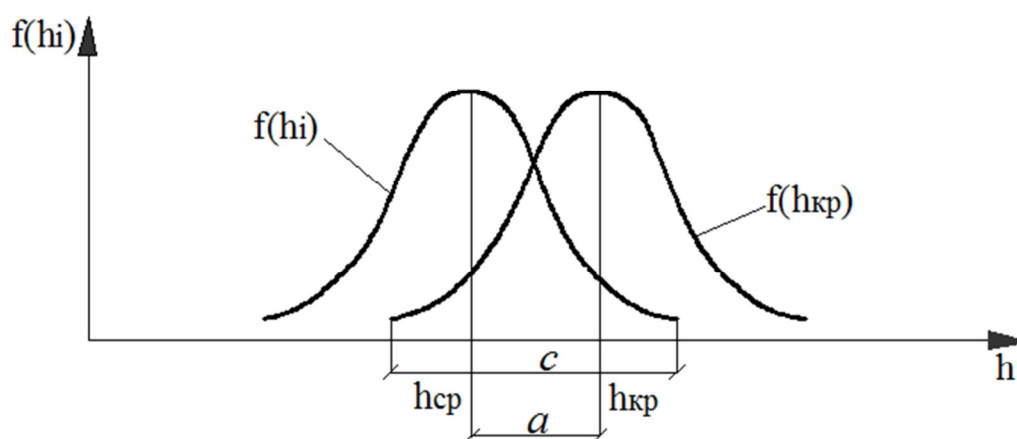


Рис. 2.2. Щільності розподілу середньої та критичної глибин шару рідини на покритті та області ризику виникнення аквапланування при збільшенні  $R_A$  та  $C$

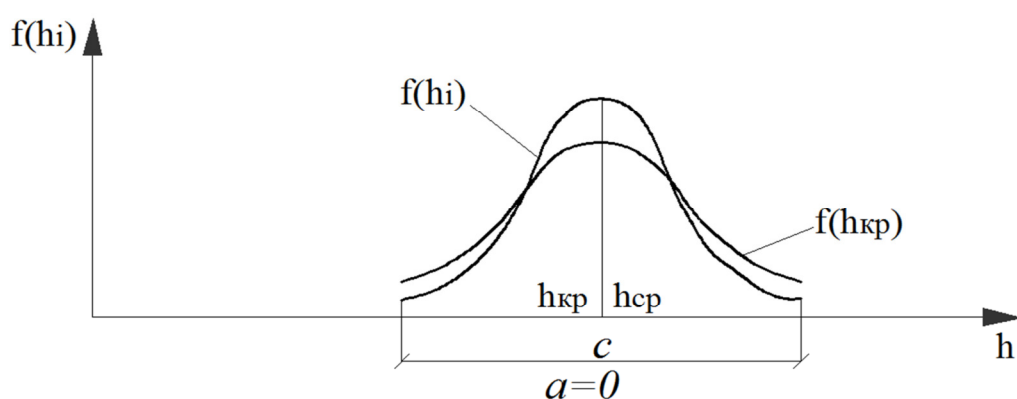


Рис. 2.3. Щільності розподілу середньої та критичної глибин шару рідини на покритті та області ризику виникнення аквапланування при  $R_A = 50\%$  (спостерігається критична швидкість руху, за якої ймовірність спливання коліс дорівнює 50%)

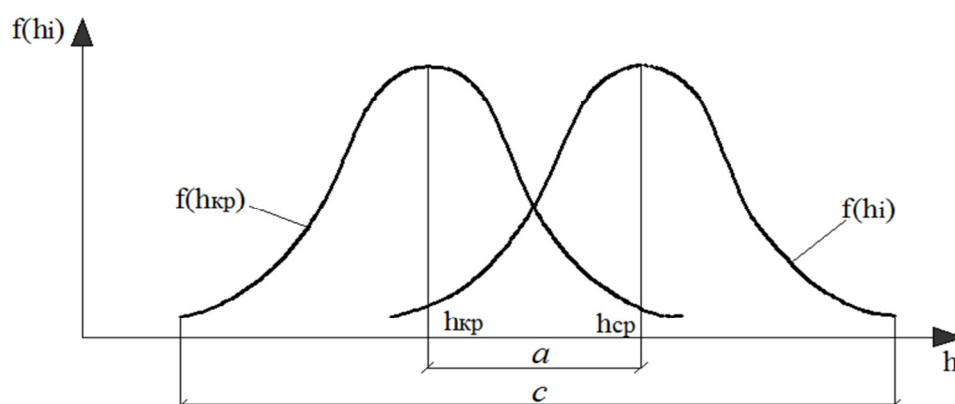


Рис. 2.4. Щільності розподілу середньої і критичної глибин шару рідини на покритті та області ризику виникнення аквапланування при  $R_A < 50\%$ ,  $C < 50\%$

На рис. 2.1 – 2.4 позначено:  $h_{cp}$  – середня глибина шару рідини;  $h_{кр}$  – критична глибина шару рідини;  $c$  – область ризику виникнення аквапланування;  $a$  – математичне очікування розподілу величин глибини шару рідини.

Таким чином, із наведеної щільності розподілу глибини шару рідини на покритті видно, що величина розподілу фактичних глибин є змінною, а величина розподілу критичних глибин повинна встановлюватись в залежності від критичної швидкості руху автомобіля, при якій виникає спливання його передніх коліс.

Автором встановлено, що залежність швидкості руху автомобіля від щільності описується нормальним законом. Враховуючи те, що нормальний закон інтегрується з використанням табульованої функції Лапласа, а сума нормальних законів є нормальним розділом, можна записати:

$$f_{x_1+x_2}(z) = f_{h_i+h_{kpi}}(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(h_i) \cdot f(z-h_i) dh = \frac{1}{\sigma_\alpha \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma_\alpha^2}}, \quad (2.3)$$

де

$$f(z-h_i) = f(h_{kpi}) \text{ (див. рис. 2.1 – 2.4);}$$

$\alpha$  – інтервал між математичними очікуваннями нормально розподілених величин;

$\sigma_\alpha = \sqrt{\sigma_{кр}^2 + \sigma_h^2}$  – середнє квадратичне відхилення сумарного розподілу двох нормально розподілених величин.

Моделювання оцінки ризику аквапланування показало, що це явище підпорядковується нормальному закону розподілу критичної глибини шару води, яка обумовлює критичну швидкість руху автомобіля.

## 2.2. Обґрунтування критичної швидкості і аквапланування автомобілів

При русі автомобіля на ділянці дороги, що вкрита шаром рідини, виникає явище ковзання передніх коліс по цьому шару над покриттям автомобільної

дороги. На момент початку ковзання рідина знаходиться під тиском, величина якого наближається до сили тиску колеса автомобіля на дорожнє покриття, а отже, до внутрішнього тиску повітря в шині. При цьому вертикальне навантаження на колесо дорівнює гідродинамічній підйомній силі рідини [97]. Тому на початок аквапланування тиск попереднього колеса на покриття дорівнює:

$$P_{ПК} = P_B = P_{ш} , \quad (2.4)$$

де

$P_{ПК}$  – тиск переднього колеса на покриття, Па  $\left[ \frac{кг}{м \cdot с^2} \right]$ ;

$P_B$  – тиск у шарі рідини, Па;

$P_{ш}$  – тиск повітря у камері колеса, Па.

Враховуючи те, що на момент відриву колеса від покриття гідродинамічна підйомна сила рідини [97] дорівнює вазі переднього колеса, отримуємо:

$$F_1 = P_{ПК} \delta L b , \quad (2.5)$$

$$F_1 = G_{ПК} , \quad (2.6)$$

$$G_{ПК} = P_{ПК} \delta L b , \quad (2.7)$$

де

$F_1$  – підймальна сила рідини, Н  $\left[ \frac{кг}{м \cdot с^2} \right]$ ;

$G_{ПК}$  – вага, яка припадає на переднє колесо, Н;

$\delta L$  – довжина змоченої поверхні колеса, м;

$b$  – ширина протектора колеса, м.

На рис.2.5 зображена схема взаємодії колеса автомобіля з плівкою рідини та покриттям.

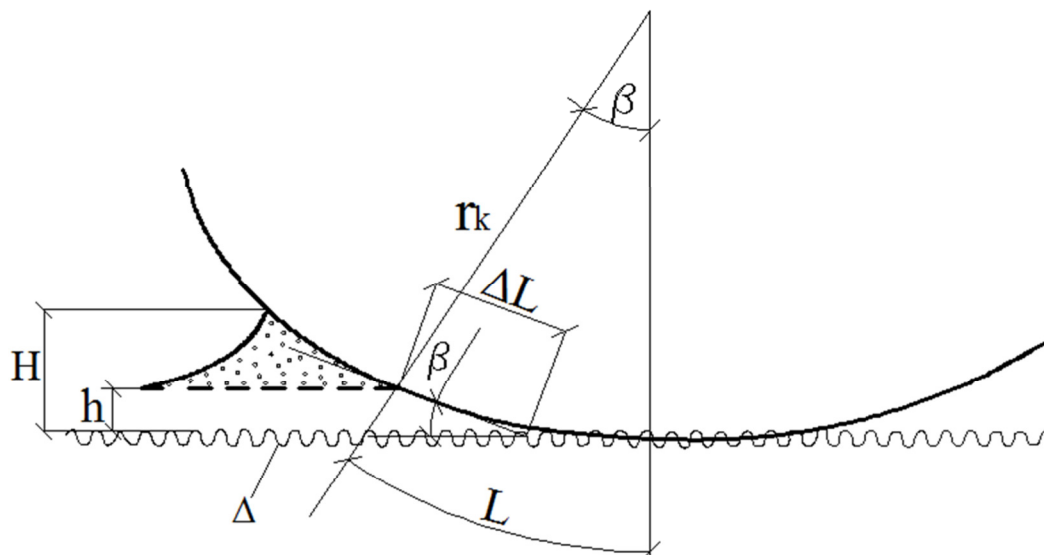


Рис. 2.5. Схема взаємодії колеса автомобіля з плівкою рідини

де

$\beta$  - середній кут похилу бігової доріжки шини в межах змоченої поверхні;

$\Delta L$ ,  $L$  – довжина змоченої поверхні шини при різних швидкостях руху автомобіля;

$H$  – висота напору води на колесо;

$h$  – глибина шару води на покритті;

$r_k$  – радіус вільного руху колеса;

$\Delta$  – виступи шорсткості покриття.

За даними Немчинова В.М. [23, 98, 99], вода діє на колесо з силою  $H$ , що дорівнює значенню:

$$H = n_1 \cdot h , \quad (2.8)$$

де

$n_1$  – ступінь збільшення глибини води перед переднім колесом;

$h$  – товщина шару води на покритті, м.

Але у наведеній формулі (2.8) не враховуються виступи шорсткості покриття  $\Delta$ , які впливають на аквапланування.

З урахуванням шорсткості існуючого покриття формула (2.8) набуває вигляду:

$$H = n_1 \cdot (h - \Delta) , \quad (2.9)$$

де

$\Delta$  – середня висота виступів шорсткості, мм;

Згідно з даними М.В. Немчинова [23, 98, 99], клин рідини, який знаходиться перед зоною контакту колеса автомобіля з покриттям і розташований вище товщини шару води, відкидається колесом в сторони та вгору і вільно розлітається у вигляді бризок. Отже, на спливання коліс безпосередньо впливає лише плівкова вода, яка і призводить до аквапланування. Тому шар рідини, який тисне на колесо, можна прийняти рівним  $h \approx \Delta$  .

Довжина опорної поверхні кочення колеса на момент початку аквапланування  $\Pi_k$  може бути виражена через радіус обтисненого колеса  $r_k$  наступним чином:

$$\Pi_k = \frac{\pi (r_k) \cdot \beta}{180} , \quad (2.10)$$

$$\beta = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot (r_k')} , \quad (2.11)$$

де

$r_k'$  – радіус обтисненого колеса, м;

$r_k' = \lambda \cdot r_k = (0,93 - 0,935) \cdot r_k$  – для шин низького тиску (легкові автомобілі);

$r_k' = \lambda \cdot r_k = (0,945 - 0,95) \cdot r_k$  – для шин високого тиску (ватажні автомобілі);

$r_k$  – радіус вільного руху колеса, м.

Згідно з дослідженнями [99] поверхня аквапланування має параболічну форму, а квадратична парабола за умови незначних значень  $\beta$  дає результати, подібні до довжини кола. Тоді:

$$\Pi_k = \sqrt{2 \cdot h \cdot r_k} . \quad (2.12)$$

Із врахуванням виступів шорсткості отримуємо:

$$\Pi_{\kappa} = \sqrt{2 \cdot (h - \Delta) \cdot r_k} . \quad (2.13)$$

Кут  $\beta$  визначається за формулою:

$$\beta = \frac{180}{\pi \cdot r_k} \sqrt{2 \cdot (h - \Delta) \cdot r_k} . \quad (2.14)$$

Висота  $h - \Delta$  (рис. 2.5) встановлюється за залежністю:

$$h - \Delta = \delta \Pi_{\kappa} \sin \beta . \quad (2.15)$$

Звідси:

$$\delta \Pi_{\kappa} = \frac{h - \Delta}{\sin \beta} . \quad (2.16)$$

Тоді:

$$F_1 = P_{ПК} \frac{h - \Delta}{\sin \beta} \epsilon . \quad (2.17)$$

У іншому випадку, застосовуючи інтеграл Лагранжа та дослідження Л.І.Сєдова, М.В. Немчинов отримав наступну формулу:

$$F_1 = \frac{1}{2} \pi \cdot \rho \cdot V^2 \cdot n_2 \cdot \epsilon \cdot h , \quad (2.18)$$

де

$\rho$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – початкова швидкість аквапланування, м/с;

$n_2$  – ступінь збільшення глибини води перед колесом автомобіля, який знаходиться в режимі аквапланування;

$h$  – глибина рідини, м;

$b$  – ширина бігової доріжки, ширина колеса, м.

Враховуючи, те що в формулі (2.17) гідродинамічна сила була отримана в залежності від глибини плівки води  $h$  під час спливання колеса автомобіля, формулу (2.18) можна відобразити у вигляді:

$$F_1 = \frac{1}{2} \pi \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (h - \Delta) \cdot \epsilon , \quad (2.19)$$



де  $\Delta$  – середня висота виступів шорсткості, м.

Критична швидкість аквапланування визначається за формулою:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{ПК}}{\pi \cdot \rho \cdot \sin \beta}}, \quad (2.20)$$

де кут  $\beta$  встановлюється за залежністю (2.14).

Враховуючи, що на момент початку аквапланування  $\sigma_v$  швидкостей руху по шару рідини з параметрами  $h_{сер}$  і  $\sigma_h$ .

Враховуючи, що на момент початку аквапланування  $P_{ПК} = P_{ш}$ , отримуємо:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{ш}}{\pi \cdot \rho \cdot \sin \beta}}. \quad (2.21)$$

Порівняння розрахунків  $V_{кр}$  з експериментальними даними, що наведені в роботах [98–99], показало співпадання результатів розрахунків з експериментальними даними при товщині шару рідини від 8 до 16 мм (0,008 – 0,016). З рис. 2.6 видно, що величина критичної швидкості прямопропорційно залежить від тиску в шині і що на значення критичної швидкості суттєво впливає товщина плівки рідини на покритті. Графіки залежності критичної швидкості  $V_{кр}$  від товщини плівки рідини  $h$ , що були отримані за формулою (2.18), наведені на рис. 2.7.

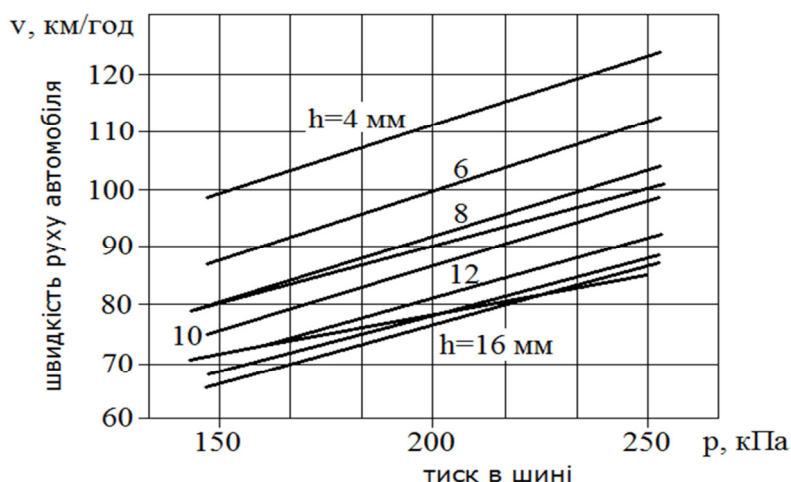


Рис.2.6. Вплив тиску в шині на величину критичної швидкості:

$h$  – товщина плівки води, мм;

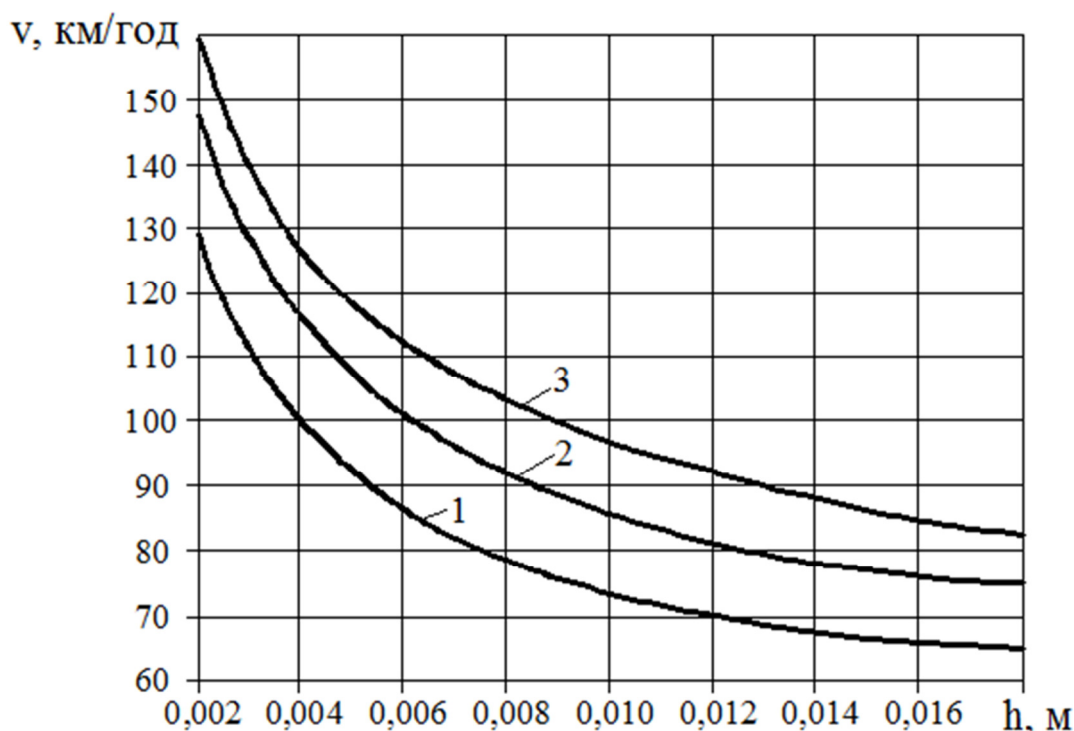


Рис.2.7. Вплив товщини шару рідини на величину критичної швидкості:

Примітка. 1 – за умови тиску в шині  $P=150000$  Па; 2 – за умови тиску в шині  $P=200000$  Па; 3 – за умови  $P=250000$  Па.

### 2.3. Вплив товщини шару води на визначення можливості виникнення аквапланування автомобіля

Згідно розрахунків, було виконано визначення критичної швидкості  $V_{кр}$  і аквапланування автомобіля на мокрому покритті.

Встановлено, що ризик виникнення аквапланування  $R_A$  при швидкості  $V$  визначається за формулою:

$$R_A = 0.5 - \Phi \left[ \frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{h_{кк}}^2 - \sigma_{h_{сс}}^3}} \right], \quad (2.22)$$

де

$\Phi$  – функція Лапласа, що визначає ризик виникнення інтервалу між математичними очікуваннями розрахункового параметру і параметру, який відповідає 50% ризику аквапланування ( $R_A$ );

$h_{кр}$  – критична глибина шару рідини на покритті, мм;

$h_{cp}$  – фактична глибина шару рідини на покритті, за якої визначається ризик початку аквапланування зі швидкістю  $V_{кр}$ , мм;

$\sigma_{h_{кр}}$  та  $\sigma_{h_{cp}}$  – середні квадратичні відхилення параметрів  $h_{кр}$  та  $h_{cp}$ , мм.

Значення показників  $\sigma_{h_{кр}}$  та  $\sigma_{h_{cp}}$  у формулі для визначення ризику аквапланування можна встановити за залежностями:

$$\sigma_{h_{кр}} = C_v^{кр} \cdot h_{кр} , \quad (2.23)$$

$$\sigma_{h_{cp}} = C_v \cdot h_{cp} , \quad (2.24)$$

де

$C_v^{кр}$  – коефіцієнт варіації критичної глибини шару рідини;

$C_v$  – коефіцієнт варіації фактичної глибини шару рідини.

При рівності  $C_v = C_v^{кр}$  забезпечується відповідність вихідних даних при зміні глибини рідини на ділянці з незабезпеченим водовідведенням від  $h_{cp}$  до  $h_{кр}$ . Тобто, параметри  $\sigma_{h_{cp}}$  та  $h_{cp}$ ,  $\sigma_{h_{кр}}$  та  $h_{кр}$  мають належати до однієї сукупності.

Розрахункові значення коефіцієнта варіації на понижених ділянках із застоєм води можна приймати у межах:  $C_v = C_v^{кр} = 0,3 - 0,45$ .

На ділянках утворення шару рідини без застою води коефіцієнти варіації глибини рідини залежать від точності визначення глибини рідини, ступеня рівності покриття і в середньому знаходяться у межах:  $C_v = 0,15 - 0,25$ .

Послідовність визначення ризику початку глісування на плівці завтовшки  $h_{cp}$  при величині швидкості  $v_{кр}$  наступна:

1. Вимірюються глибина шару рідини в різних точках ділянки, вираховується середня глибина  $h_{cp}$  і середнє квадратичне відхилення глибини  $\sigma_h$ .

2. Величина  $h_{cp}$  приймається рівною критичній глибині  $h_{кр}$ ,  $h_{cp} = h_{кр}$  і при цьому визначається кут спливання колеса автомобіля  $\beta$ .

3. Визначається критична швидкість  $v_{кр}$ , яка відповідає початку аквапланування автомобіля при товщині шару рідини  $h_{cp} = h_{кр}$ .

4. Коефіцієнти варіації  $C_v$  та  $C_v^{кр}$  визначаються за формулою:

$$C_v = C_v^{кр} = \frac{\sigma_h}{h_{cp}}. \quad (2.25)$$

5. Визначається ризик початку аквапланування  $R_A$  за швидкості  $v = v_{кр}$  та будь-якої фактичної товщини шару рідини  $h$ .

На рис.2.8 зображена залежність ризику виникнення аквапланування автомобілів від глибини шару рідини.

На основі даних, наведених на рис. 2.8, можна зробити висновок, що ймовірність спливання передніх коліс значно залежить від швидкості руху автомобіля та глибини шару рідини на покритті. Так, при глибині шару рідини 3,5 мм та швидкості руху 70 км/год, ймовірність спливання коліс дорівнює  $1 \cdot 10^{-3}$ , а при швидкості 90 км/год ймовірність спливання збільшується на два порядки, до  $1 \cdot 10^{-1}$ , тобто явище аквапланування починає діяти на кожний десятий автомобіль.

#### **2.4. Модель впливу нерівностей покриття дороги на швидкість аквапланування автомобіля**

Забезпечення розрахункової швидкості руху є важливим показником транспортної роботи автомобільної дороги.

Одним із головних факторів, що визначає швидкість руху автомобілів, особливо на мокрому покритті, є рівність проїзної частини [100-123].

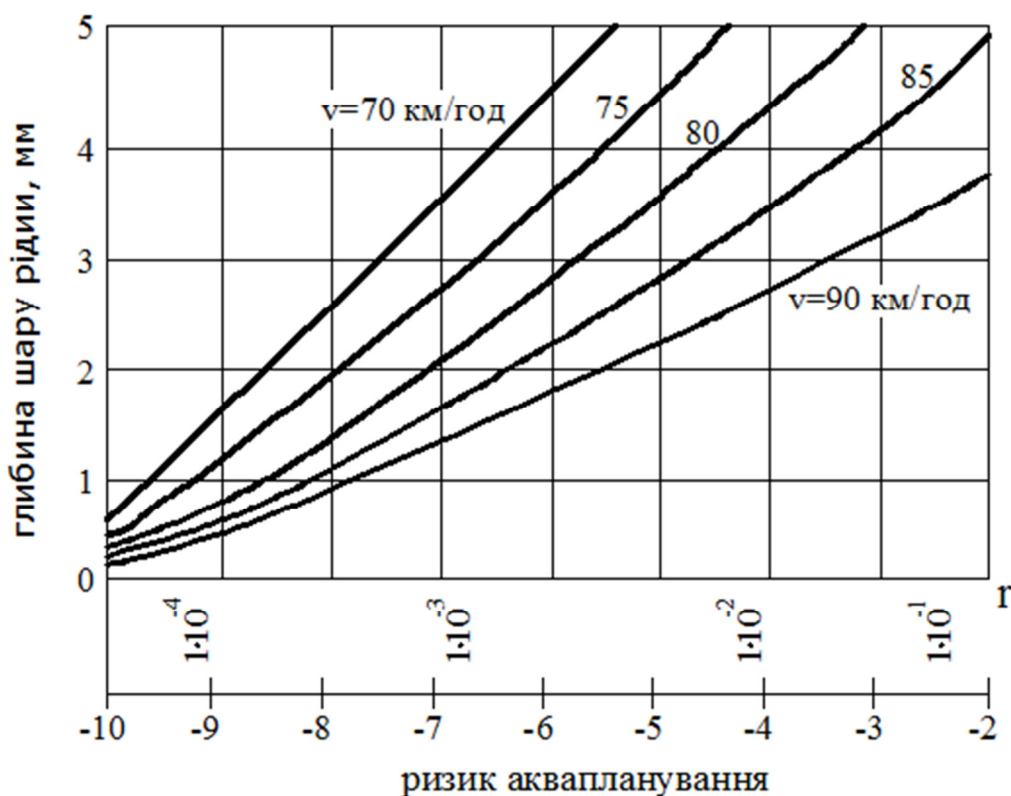


Рис. 2.8. Залежність ризику виникнення аквапланування від товщини плівки рідини при різних швидкостях руху автотранспортних засобів

Від рівності поверхні покриття залежить кількість затриманої води, яка призводить до утворення шару стоку, що збільшується в часі і призводить до зниження швидкості руху автомобілів і початку їх аквапланування.

Фактичну товщину шару води на покритті можна встановлювати за залежністю:

$$h = \left[ \frac{a \cdot L \cdot n}{30 \sqrt{i}} \right]^{0,6}, \quad (2.26)$$

де

$a$  – інтенсивність дощу, мм/хв.;

$L$  – довжина ділянки стоку води, м;

$n$  – коефіцієнт шорсткості дорожнього покриття;

$i$  – ухил ділянки стоку води, %.

Але ця залежність не враховує наявність нерівностей на покритті і може бути застосована лише на стадії проектування доріг. Рух транспортних засобів і вплив природних факторів поступово погіршують початкову рівність покриттів і геометричні характеристики поздовжнього та поперечного профілів. Це призводить до зниження фактичної швидкості руху, динамічних ударів коліс транспортних засобів по нерівностях покриття та поштовхів, які розгойдують автомобіль.

Нерівності, як правило, погіршують міцність дорожньої конструкції і прискорюють початок аквапланування. Існуючі моделі з оцінки можливості виникнення аквапланування автомобілів не враховують вплив нерівностей покриття на процес спливання коліс, що не дозволяє в повній мірі передати та запобігти появі цього процесу.

Для врахування впливу нерівностей покриття, що виникли в процесі експлуатації, в математичній моделі повинні бути визначені такі величини:

- швидкість руху, за якої можливе виникнення аквапланування автомобіля:

$$V = V_{кр} ; \quad (2.27)$$

- кут спливання колеса:

$$\beta = \arcsin \frac{2P_{ш}}{\pi \cdot \rho \cdot V_{кр}^2} ; \quad (2.28)$$

- критична товщина шару рідини, за якої вірогідність виникнення аквапланування відповідає 50% ризику:

$$h_{кр} = \frac{r_k}{2} \left[ \frac{\pi\beta}{180} \right]^2 + \Delta ; \quad (2.29)$$

- коефіцієнт варіації критичної глибини шару стоку  $C_V^{кр}$ , який приймається рівним до середнього значення коефіцієнта варіації глибин  $C_V^{кр} = C_V^h$  на ділянках доріг із незабезпеченим водовідведенням:

$$C_V^h = C_V^{h_{кр}} = \frac{\sigma_n}{h} . \quad (2.30)$$

За умови зміни глибини рідини на ділянці з незабезпеченим водовідведенням від значення  $h_i$  до  $h_{кр}$  встановлюють:

1) Ризик виникнення аквапланування автомобіля на шарі рідини за формулою (2.22).

2) Довжину спливання колеса:

$$l_{спл} = \frac{h}{tg \beta} ; \quad (2.31)$$

де

$h$  – фактична глибина шару води, м.

3) Час спливання колеса:

$$t = \frac{l_{спл}}{V} . \quad (2.32)$$

Якщо довжина нерівності, заповненої рідиною, більше або дорівнює  $l_{спл}$ , то аквапланування на даній довжині можливе. Такі дослідження показують, що короткострокове аквапланування може виникнути під впливом нерівності покриття майже миттєво, що вимагає підвищених вимог до рівності покриття для умови неприпустимості аквапланування автомобіля на проїзній частині під час дії складних погодно-кліматичних умов.

## **2.5. Теоретичні основи забезпечення надійності роботи дорожньої конструкції для попередження появи аквапланування автомобілів**

За визначенням Золотаря І.О. [105] під надійністю автомобільної дороги як комплексної транспортної споруди слід розуміти здатність забезпечувати безпечний розрахунковий рух з середньою швидкістю, яка близька до оптимальної протягом нормативного чи заданого терміну служби. Результати

діагностики автомобільних доріг України свідчать про її недостатню надійність.

Так, за даними проведених обстежень, більше половини автомобільних доріг потребують збільшення міцності дорожніх одягів, рівності проїзної частини та збільшення зчіпних якостей покриття.

Існуючі недоліки дорожніх покриттів значно зменшують швидкість і безпеку руху автомобілів, викликаючи, особливо під дією негативних погодно-кліматичних факторів, аквапланування автомобілів.

Відмічені факти підкреслюють необхідність підвищення капітальності дорожніх покриттів за рахунок використання сучасних технологій і матеріалів.

Надійність автомобільної дороги – це складна комплексна характеристика, на яку впливають різні елементи. Вихід з ладу одного з елементів може викликати загальну відмову всієї дороги.

Резервність автомобільних доріг є однією з найважливіших характеристик при оцінці надійності. Для ефективного функціонування даної системи необхідні профілактичні і ремонтні заходи, метою яких є забезпечення надійності, яка закладена при проектуванні та будівництві автомобільних доріг.

Згідно з теорією надійності, в нерезервованій системі, яка складається з  $n$  послідовно з'єднаних елементів  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , відмова одного з них рівносильна відмові системи в цілому. Виходячи з цього, автомобільну дорогу можна вважати нерезервованою системою, якщо відбувається повна відмова в її функціонуванні чи зупинка руху на будь-якій ділянці. Такий стан автомобільної дороги можливий, особливо в розрахунковий весняний період року, коли внаслідок випадання значної кількості опадів у вигляді дощу і недостатнього водовідведення, вода залишається на покритті, в значній товщі шару та викликає аквапланування автомобілів або внаслідок незабезпеченої пропускну здатності утворюються затори на дорогах з високою інтенсивністю руху.



Надійність автомобільної дороги може бути підвищена за рахунок дублювання чи резервування її елементів. Згідно правила множення ймовірностей, ймовірність безвідмовної роботи системи  $P$  можна розглядати як добуток ймовірностей елементів  $P_n$ , які складають цю систему, якщо ці елементи виходять з ладу незалежно один від одного. Надійність такої системи становить:

$$P = \prod_i^n = 1 - p_i . \quad (2.33)$$

Дорожня конструкція, яка складається з декількох конструктивних елементів (дорожнє покриття, дорожній одяг, узбіччя, система водовідводу, штучні споруди на автомобільних дорогах), являє собою дискретну систему. Ефективна робота кожного конструктивного елемента характеризується визначеною ймовірністю  $q$  часткової відмови. Ймовірність ефективного функціонування кожного елемента дорожньої конструкції може бути знайдена як:

$$P = 1 - q . \quad (2.34)$$

Якщо автомобільна дорога являє собою резервовану систему, то надійність її роботи може бути представлена асимптотичною формулою більшого резерву:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) \partial t = \frac{1}{\alpha_0} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) = \bar{t}_0 (C + \ln n) , \quad (2.35)$$

де

$\alpha_0$  – частота відмови ділянки;

$\bar{t}_0 = \frac{1}{\alpha_0}$  – час роботи однієї ділянки до моменту виникнення відмови.

Як правило, в резервованих системах ефективність роботи досягається при  $n = 2$ . Тоді період безвідмовної роботи дорожньої конструкції, яка складається з двох дублюючих елементів, складає:

$$\bar{t} = 1,5 \bar{t}_0 . \quad (2.36)$$

У випадку, якщо автомобільна дорога являє собою резервовану систему, коли надійність всіх її елементів однакова, її можна визначити за формулою:

$$P = 1 - (1 - P_i)^n , \quad (2.37)$$

де

$P$  – надійність резервних елементів;

$n$  – кількість дублюючих один одного незалежних елементів.

В реальних умовах експлуатації кожний елемент дорожньої конструкції має свій ступінь надійності. Тоді загальна надійність автомобільної дороги визначається за формулою:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n) . \quad (2.38)$$

Успішне функціонування автомобільної дороги протягом заданого терміну служби  $T$  на відрізку часу експлуатації дороги  $0 < \tau \leq T$  буде забезпечене тоді, коли можливе число елементів  $v$  дорожньої конструкції, які виходять з ладу, становитиме:

$$v \leq x , \quad (2.39)$$

де

$x$  – гранично допустиме значення згідно заданій надійності.

Ймовірність безвідмовної роботи автомобільної дороги на основі вищенаведеного можна виразити формулою Бернуллі:

$$P(v \leq x) = \sum_{v=0}^x \frac{n!}{(n-v)!v!} p^{n-v} q_v . \quad (2.40)$$

Формула (2.40) показує, що гранична сукупність часткових відмов елементів дорожньої конструкції може викликати загальну (повну) відмову автомобільної дороги.

Експлуатація автомобільної дороги протягом розрахункового терміну служби являє собою безперервний процес. Таким чином, частота відмов і ймовірність безвідмовної роботи дорожніх конструкцій можуть бути виражені як безперервний розподіл:

$$A(t) = \int_0^t \alpha(t) d(t) . \quad (2.41)$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t \alpha(t) d(t) . \quad (2.42)$$

Важливою характеристикою для безвідмовної роботи дорожньої конструкції є інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  чи частка її елементів, які відмовили за одиницю часу, відносно до безвідмовно працюючих:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{\left( n_0 - \frac{n(t)}{2} \right) \Delta t} . \quad (2.43)$$

Важливою умовою безвідмовної роботи дорожніх конструкцій є встановлення на основі статистичних даних частоти відмов  $\alpha(t)$ . Для цього необхідно визначити, якому закону розподілу відповідають значення даної випадкової величини.

Згідно з результатами досліджень, накопичених в цій галузі, для автомобільних доріг найбільше підходить логарифмічно- і нормальне розподілення, бета-розподілення, гама- розподілення і розподілення Вейбула.

Оцінку ступеня ефективності застосування ГМ в дорожніх конструкціях слід здійснювати за комплексним показником, який найбільш повно відображає транспортно-експлуатаційні показники автомобільних доріг. Інтегральною характеристикою оцінки цього показника є швидкість руху, яка виражена через коефіцієнт забезпечення розрахункової швидкості. Рядом авторів встановлений зв'язок між швидкістю руху і міцністю дорожніх конструкцій:

$$V = \gamma \exp \left( - \frac{\delta_t}{K_{зм}} \right) , \quad (2.44)$$

де

$\gamma$  і  $\delta_t$  – коефіцієнти, які залежать від типу покриття, складу руху та його інтенсивності;

$t$  – поточний час, роки;

$K_{зм}$  – коефіцієнт запасу міцності.

Для умов експлуатації автомобільних доріг, які розглядаються, закон розподілення коефіцієнта запасу міцності дорожньої конструкції  $K_{зм}$  відповідає нормальному:

$$f(K_{зм}) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(K_{зм} - mK_{зм})^2}{2\sigma_k^2} \right], \quad (2.45)$$

де

$mK_{зм}$  – математичне очікування коефіцієнта запасу міцності;

$\sigma_k$  – дисперсія коефіцієнта запасу міцності.

Щільність розподілення зміни швидкості руху  $f_v$  в залежності від  $v = \psi(K_{зм})$  виражається за формулою:

$$f_v = f(\psi(v))[\psi'(v)]. \quad (2.46)$$

Після перетворення формул (2.45, 2.46) отримана наступна залежність:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{\left( \frac{\delta_t}{\ln(\gamma/v)} - mK_{зм} \right)^2}{2\sigma_k^2} \right] \cdot \left[ \frac{\delta_t}{\ln(\gamma/v)^2} \right]. \quad (2.47)$$

З формули (2.47) слідує, що залежність забезпечення швидкості руху від коефіцієнта запасу міцності підкоряється закону логарифмічно нормального розподілу.

Враховуючи відмічене, можна визначити ступінь надійності дослідних конструкцій з покриттям із пористого асфальтобетону за умови укладання під верхній шар базальтвоволоконного суцільного полотна ПСБ-Д для забезпечення відведення води, що потрапляє крізь верхній шар покриття і недопущення її просочення у нижчерозташовану основу дорожнього одягу.

Графік для визначення заданої надійності дорожнього одягу від коефіцієнту запасу міцності дорожньої конструкції наведений на рисунку 2.9.

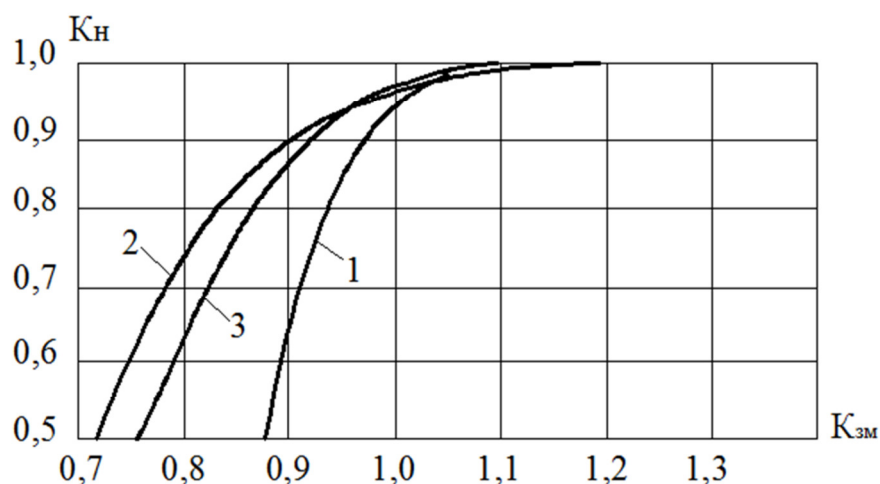


Рис. 2.9. Графік визначення заданої надійності дорожнього одягу  $K_n$   
 1 – при розтягу на згин; 2 – при зсуву; 3 – за допустимим пружним прогином

Згідно [124] дорожня конструкція задовольняє вимогам міцності, якщо виконується умова:

$$K_{зм} \succ K_{зм}^{доп}, \quad (2.48)$$

де

$K_{зм}$  – коефіцієнт запасу міцності;

$K_{зм}^{доп}$  – мінімально допустиме значення коефіцієнту запасу міцності дорожнього одягу.

Коефіцієнт запасу міцності визначається як відношення фактичного модуля пружності дорожньої конструкції в розрахунковий період року  $E_\phi$  до необхідного модуля пружності  $E_n$  при існуючому русі на дорозі:

$$K_{зм} = \frac{E_\phi}{E_n}. \quad (2.49)$$

Згідно з вимогами діючих нормативних документів [124, 125], визначено коефіцієнт запасу міцності для доріг I-IV категорій:  $K_{зм} = 0,95$  – для автомобільних доріг I-II категорій;  $K_{зм} = 0,90$  – для автомобільних доріг III категорії;  $K_{зм} = 0,85$  – для автомобільних доріг IV категорії.

Таким чином, як видно із графіка, наведеного на рисунку 2.9, відповідно коефіцієнт надійності  $K_n$  повинен знаходитись в межах 0,95-1,00. Необхідно відмітити, що в [124] визначається еквівалентний модуль пружності всієї дорожньої конструкції. Це дозволить найбільш повно оцінити напружено-деформований стан дорожнього одягу з покриттям із пористого асфальтобетону, посиленого армуючим прошарком із суцільного полотна ПСБ-Д.

## **2.6. Моделі та розрахункові схеми оцінки міцності дорожніх конструкцій, які попереджають появу аквапланування автомобілів**

Надійна робота асфальтового бетону незалежно від його типу та структури, під дією погодно-кліматичних факторів та руху транспортних засобів буде забезпечена тільки тоді, коли в ньому не виникають перенапруження і асфальтобетонне покриття працює як пружна плита [105, 106].

Для підтвердження цього положення покладені посилання автора, зроблені на основі огляду літератури і проведених раніше експериментальних досліджень:

- опір монолітного асфальтобетонного шару утворенню тріщин є найнижчим в період, коли верхні шари основи мають знижену несучу здатність і мінімальні модулі пружності, а шари асфальтобетонного покриття, зволожуючись та охолоджуючись, мають підвищену жорсткість. В цей період типовими для асфальтового бетону в умовах руху автомобільного транспорту при швидкості 11,1 – 27,7 м/с є крихке (миттєве) руйнування. Виникаючі при цьому тріщини розвиваються швидко, а найбільше напруження розтягу при згині практично є константою, що характеризує міцність асфальтового бетону на згин;

- асфальтовий бетон здатний приймати на себе значну частку навантаження і розподіляти її на більшу площу нижче розташованого шару, при цьому, він має високу міцність на згин, яка може досягати 4-10 МПа;

- виникаючі переміщення та деформації плити малі порівняно з розмірами елементів всієї дорожньої конструкції;

- деформація плити практично пропорційна діючій силі при тривалості короточасних повторних навантажень, які відповідають реальним умовам експлуатації дорожнього покриття;

- температурні коливання в межах від +2,5 °С до -3,5 °С викликають відхилення величин модуля пружності по товщині асфальтобетонного покриття, але не більше 7-9 % від розрахункових. Такі границі відхилення майже допустимі в розрахунках, і асфальтобетонні покриття можуть відповідно розглядатися як монолітні і рівномічні по всьому перерізу;

- асфальтобетонна плита може розглядатися як нескінченно протяжна, оскільки при високій жорсткості асфальтового бетону виконується умова:

$$B \geq 3H_{II} \sqrt{\frac{E_{II}}{E_{екв}}}, \quad (2.50)$$

де

$B$  – розмір меншої сторони плити в плані (ширина покриття), м;

$H_{II}$  – товщина асфальтобетонного шару, м;

$E_{II}$  – модуль пружності асфальтового бетону, Па;

$E_{екв}$  – еквівалентний модуль пружності дорожньої конструкції, Па.

Виходячи з визначених закономірностей поведінки асфальтового бетону, є можливість розглядати модель дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям з нових позицій – розрахунок за критерієм «згин» за схемою, що наведена на рисунку 2.10.

Розрахункова модель дорожнього одягу, яку наведено на рисунку 2.10, являє собою систему, що складається з нескінченної монолітної асфальтобетонної плити, що лежить на пружній основі кінцевої міцності і

навантаженої вертикальним навантаженням  $P$ , рівномірно розподіленим по площі круга з радіусом  $R$ .

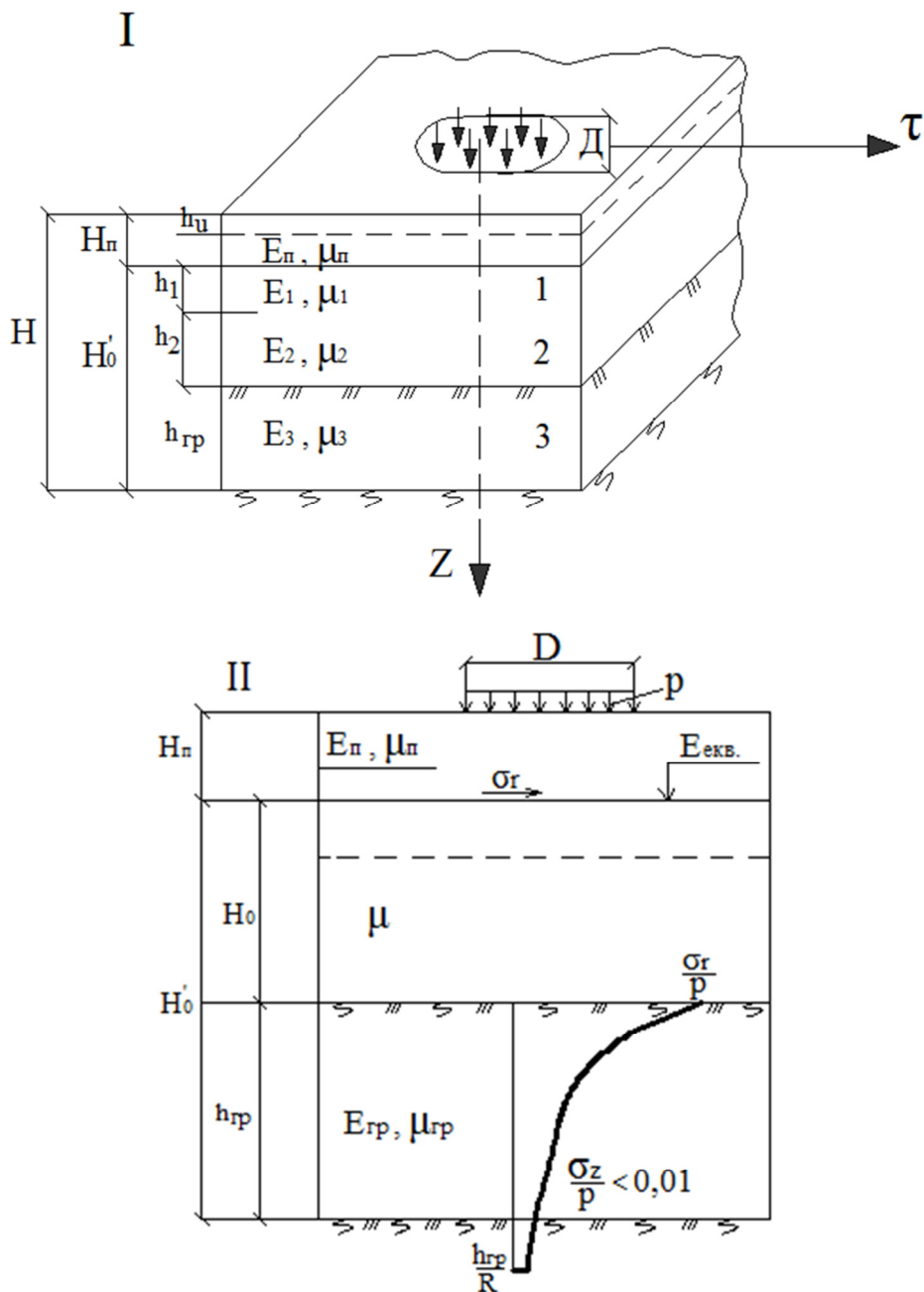


Рис. 2.10. Схема моделі дорожнього одягу з покриттям із асфальтового бетону для розрахунку за критерієм «згин»:

I – навантаження, система координат, конструктивні шари;

II – розрахунковий переріз, розподілення напружень в динамічно активній зоні ґрунту земляного полотна.

Цифрами на схемі позначені номери шарів.



$h_u$  – товщина шару зносу.

Пружня основа має вигляд тришарової системи, в тому числі два шари штучної основи і шар активної зони ґрунту земляного полотна товщиною  $h_{гр}$  (зона ґрунту, яка працює в умовах змінної деформації при коливаннях дорожнього одягу). Система характеризується модулем пружності  $E_k$ , коефіцієнтом Пуассона  $\mu_k$  і товщиною  $h_k$ , при чому  $E_{II} > E_I > E_2 > E_3$ . Розрахунковий переріз розташований на нижній поверхні покриття під центром навантаженого майданчика.

В цій моделі в якості граничного стану асфальтового бетону в покритті, який працює в стадії зворотніх деформацій, приймається початкова стадія зміни його структури, що виражається в навантаженні окремих зв'язків під дією розтягуючих напружень. Це, в свою чергу, дозволяє характеризувати жорсткість пружного шару покриття при даному розрахунковому навантаженні і температурі пружними константами шаруватої системи і загальним показником, що визначається з умови рівності прогинів і кривизни пружної плити та пружної основи. При цьому, за критерій міцності приймається напруження на розтяг при згині плити, безпосередньо визначене величиною пружного відносного подовження  $i$ , відповідно, кривизною монолітного шару покриття, який утворюється при даних умовах в місці прикладання навантаження.

Таким чином, для розрахунку асфальтобетонних покриттів можна рекомендувати методи, які дають рішення задач на згин нескінченної плити на пружній основі.

При встановленні розтягуючих напружень найбільш широко використовуються рішення О.Я. Шехтер та М.Б. Корсунського, де в якості пружних характеристик прийняті модуль пружності та коефіцієнт Пуассона.

Згідно з висновками [126-129], в запропоновану модель дорожнього одягу включена і динамічно активна зона ґрунту, яка приймає участь у вимушених коливаннях покриття.

Таким чином, у відповідності до умов пружнього деформування покриття з асфальтового бетону при встановленні найбільших розтягуючих напружень рекомендується використання методу О.Я.Шехтер з визначенням еквівалентного модуля основи за методом І.О. Медникова [126-129]. Розглядається шарувата основа і додатковий шар активної зони ґрунту земляного полотна, де нормальне напруження на нижній границі зони не перевищує 1 % від напруження у верхній її частині. В розрахунках для суми цих шарів визначається еквівалентний модуль пружності  $E_{\text{екв}}$ , після чого розрахунок ведеться за методом О.Я. Шехтер [126].

Найбільше розтягуюче напруження при згині, яке виникає на нижній поверхні покриття під центром навантаженого майданчика на одиницю ширини плити, визначається за формулою:

$$\sigma_r = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{6 M_{\max}}{H_{\Pi}^2}, \quad (2.51)$$

де

$M_{\max}$  – максимальний згинальний момент під центром відбитку колеса з радіусом  $R$ , Н·м;

$W$  – момент опору, м<sup>3</sup> (на одиницю ширини перерізу дорівнює  $\frac{H_{\Pi}^2}{6}$ );

$H_{\Pi}$  – розрахункова товщина шару, м.

Максимальний згинальний момент від навантаження, яке рівномірно розподілене по колу радіусом  $R$ , визначається за формулою:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot (1 + \mu_{\Pi}) \cdot c}{2 \pi \cdot a \cdot R}, \quad (2.52)$$

де

$P$  – найбільше статичне навантаження на одиночну вісь з урахуванням динамічного коефіцієнта, Н;

$\mu_{\Pi}$  – безрозмірний коефіцієнт Пуассона матеріалу покриття;

$c$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від величини добутку  $R \cdot a$  за графіком, наведеним на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11. Графік для визначення коефіцієнту  $c$

$$a = \frac{I}{H_{II}} \sqrt{\frac{6 E_{екв} \cdot (I - \mu_{II}^2)}{E_{II} (I - \mu_{гр}^2)}}, \quad (2.53)$$

де  $R$  – радіус відбитка колеса, м;

$a$  – характеристика жорсткості конструкції,  $m^{-1}$ .

$H_{II}$  – товщина покриття, м;

$E_{II}$  – модуль пружності матеріалу покриття, Па;

$E_{екв}$  – еквівалентний модуль пружності дорожньої конструкції в залежності від категорії дороги, Па;

$\mu_{гр}$  – безрозмірний коефіцієнт Пуассона ґрунту.

При визначенні  $E_{екв}$  необхідно знати вертикальні напруження в ґрунті земляного полотна в точці, яка розташована на глибині активної зони при навантаженні, що дорівнює  $0,01p$ . Є номограми, наведені в нормативному документі [124] для визначення вертикальних напружень в тришарових системах. Ці номограми складені для значень модулів пружності конструктивних шарів порядку 1-3 Па. При розгляді асфальтового бетону, армованого базальтовим прошарком ПСБ-Д, як матеріалу, значення відносних

товщин  $H_0/D$  конструктивних шарів коливаються в межах від 1,2 до 2, що не дає можливості використовувати вказані номограми. Для визначення вертикальних напружень при використанні матеріалів підвищеної жорсткості автором складені спеціальні додаткові номограми, які наведені на рисунку 2.12 – 2.13.

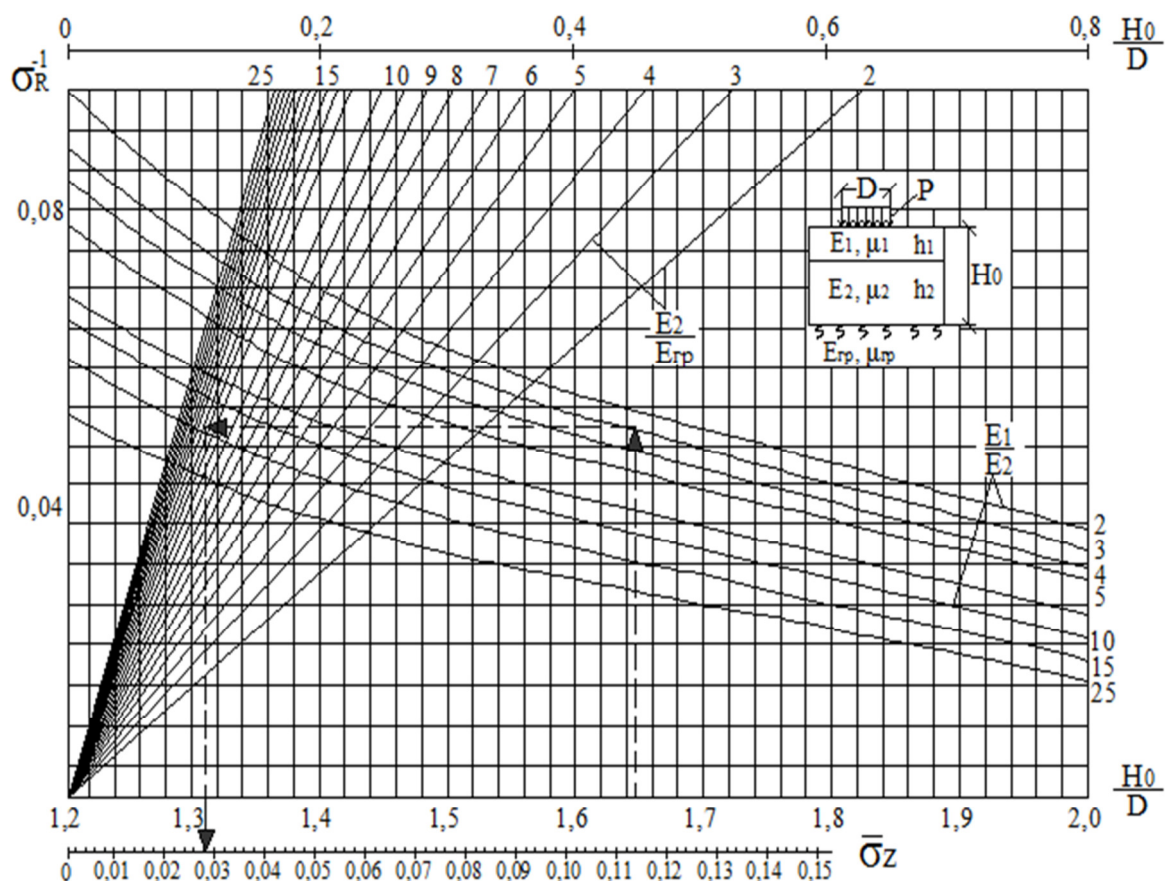


Рисунок 2.12. Номограма для визначення вертикальних напружень тришарового дорожнього одягу на поверхні земляного полотна

За допомогою номограм є можливість визначити вертикальні напруження на поверхні земляного полотна на різних глибинах від контактної поверхні.

Розрахунок за допомогою номограм виконується в наступній послідовності: спочатку розраховують відношення  $E_1/E_2$ ,  $E_2/E_{gp}$ ,  $H_0/D$ ; потім за номограмою, яка наведена на рисунку 2.12, з точок, що відповідають  $H_0/D$ , по верхній шкалі абсцис проводять вертикальну пряму до кривої  $E_1/E_2$  і з цієї точки перетину ведуть горизонтальну лінію до променя  $E_2/E_{gp}$ , звідки

опускають перпендикуляр на нижню шкалу осі абсцис і знаходять безрозмірне напруження  $\bar{\sigma}_z$ .

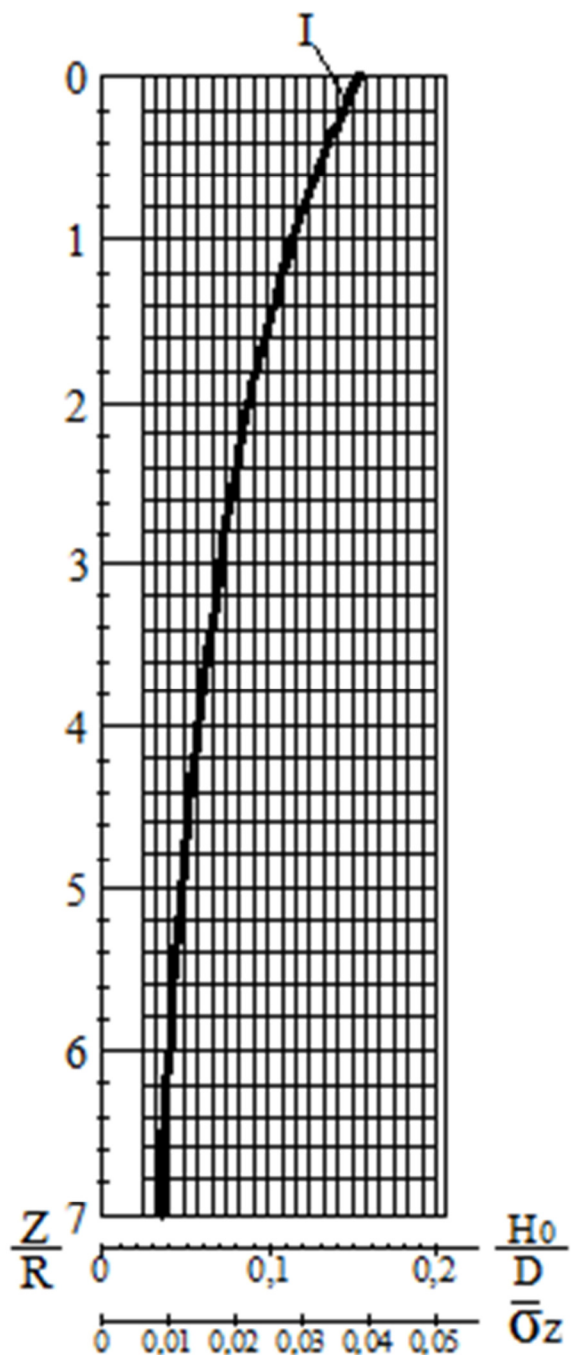


Рисунок 2.13. Номограма для визначення вертикальних напружень тришарового дорожнього одягу на різних глибинах від контактної поверхні

Помноживши визначене напруження  $\overline{\sigma_z}$  на середній питомий тиск, який діє на покриття, отримують істинну величину напруження.

У випадку, якщо співвідношення  $\frac{h_1}{H_0} \geq 0,3$ , то пошукову величину напруження множать на поправочний коефіцієнт  $\gamma$ , значення якого приймають за номограмою, що наведена на рисунку 2.14 в залежності від величини співвідношення  $E_1/E_2$  і  $h_1/H_0$ .

Напруження в ґрунті земляного полотна на різних глибинах від контактної поверхні визначають за номограмою ( рис. 2.13) наступним чином: визначене раніше напруження переноситься на номограму, потім з точки на нижній шкалі осі абсцис проводять вертикаль до перетину з кривою I, звідки ведуть горизонтальну лінію до перетину зі шкалою осі ординат, де знаходять відношення  $Z/R$ .

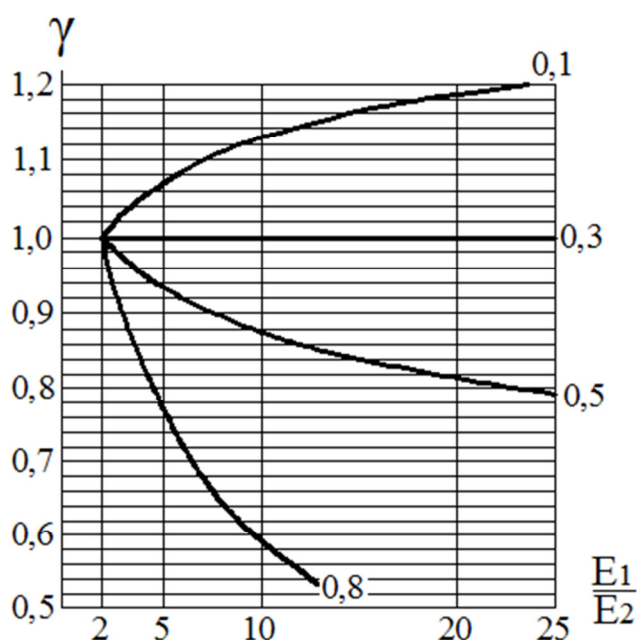


Рис. 2.14. Номограма для визначення поправочного коефіцієнта

Від цієї точки відкладають на шкалі ординат відстань  $Z/R$ , яка дорівнює 1, 2, 3, 4 і т.д. і проводять відповідні їм горизонтальні лінії до перетину з кривою I. Потім для цих точок знаходять на осі абсцис величини вертикального

напруження в частках від розрахункового навантаження, яке діє на поверхні дорожнього одягу.

В розглянутій моделі важливу роль відіграє оцінка надійності роботи в покритті верхнього шару – шару зносу. При літніх позитивних температурах і відповідно при підвищеній деформативності матеріалу руйнування покриття внаслідок розриву чи злому асфальтобетонного покриття, як правило, не відбувається. Тим більше, що несуча здатність ґрунтової основи в цей період року значно збільшується порівняно з весняним періодом відтавання. У зв'язку з цим була прийнята наступна робоча гіпотеза: працюючи в пружній стадії, покриття зберігає рівність, якщо його верхній шар (шар зносу) має достатню стійкість до утворення незворотніх деформацій пластичного характеру при високих позитивних температурах. Це справедливо, якщо величина в'язкої деформації асфальтового бетону в цей період не перевищує граничної, яка встановлюється з урахуванням повторності (інтенсивності руху) і кліматичних факторів. Нормування тривалості в'язкої текучості та величини залишкової деформації дає можливість передбачити виникнення в покритті, влаштованому із пористого асфальтобетону, деформацій пластичного характеру у вигляді зсувів і нерівностей за рахунок обґрунтованого вибору складу сумішей, незважаючи на збільшену кількість пор.

Узагальнюючи вищенаведене, можна прийти до висновку, що конструювання покриття із асфальтового бетону повинно виконуватись з умов забезпечення:

- міцності до утворення тріщин в стадії крихкого руйнування асфальтового бетону;
- стійкості верхнього шару (шару зносу) покриття до утворення деформацій пластичного характеру при високих позитивних температурах.

Відповідно до вищенаведеного, повинні задовольнятися наступні умови:

$$\sigma_r \leq R_p, \lambda_0 \leq 0,01 \text{ та } n \geq 120, \quad (2.54)$$

де  $\sigma_r$  – встановлене розрахунком найбільше розтягуюче напруження при згині, яке виникає на нижній поверхні покриття під центром навантаженої площадки, Па;

$R_p$  – розрахунковий опір розтягу при згині для матеріалу шару покриття:

$$R_p = R_H \cdot k_0 \cdot m , \quad (2.55)$$

де

$R_H$  – нормативний опір при згині в умовах короточасних впливів повторних навантажень і температури  $0^\circ\text{C}$ , Па;

$k_0$  – безрозмірний коефіцієнт однорідності;

$m$  – безрозмірний коефіцієнт умов роботи;

$\lambda_0$  – залишкова деформація при температурі  $50^\circ\text{C}$  за цикл «навантаження - розвантаження», мм;

$n$  – кількість циклів «навантаження-розвантаження», які припадають на область в'язкої текучості.

Така схема розрахунку дорожніх одягів представлена на рисунку 2.10 і може бути використана при проектуванні конструкцій з використанням армуючих прошарків з різних матеріалів, зокрема ПСБ-Д.

Підбір сумішей для нижнього шару асфальтобетону здійснюється з позиції отримання їх міцності при згині, яка наближається до міцності асфальтового бетону для улаштування шару зносу і модуля пружності .

При обґрунтуванні конструктивних товщин асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів з приведеною інтенсивністю руху в межах від 100 до 1000 авт/добу, коли загальна товщина покриття не перевищує 0,16 м, а частка шару зносу складає більше 20 %, покриття при розрахунку розглядається як конструкція, що складається з двох матеріалів, які оцінюються середньозваженими значеннями розрахункових параметрів. При інтенсивності менше 100 авт/добу покриття в конструкції при розрахунках розглядається як одношарове.



Основа під покриття конструюється з умови забезпечення загальної товщини морозозахисного шару і дренуючих шарів чи забезпечення стійкості ґрунту земляного полотна проти випирання. При використанні армуючих прошарків, що підсилюють дорожню конструкцію, товщину верхнього шару основи рекомендується приймати мінімальною для даної категорії дороги.

Для влаштування нижнього шару основи можна мати й місцевий матеріал, але підібраний таким чином, щоб співвідношення  $E_b/E_n$  було не більше 6. Тоді значення товщини нижнього шару встановлюється з наступної умови: при  $E_b/E_n$  не більше 3,5 –  $h/D$  від 0,25 до 1; при  $E_b/E_n$  не більше 6 –  $h/D$  менше 0,25 і більше 1,

де

$h$  – товщина нижнього шару основи, м;

$D$  – діаметр кола, рівновеликого відбитку колеса, м.

Прийнята товщина нижнього шару за необхідності перевіряється за умовою морозостійкості з внесенням коректив.

## Висновки до розділу 2

1. Удосконалена математична модель для оцінки ризику виникнення аквапланування автомобілів з урахуванням дії погодно-кліматичних факторів, фізичних процесів, що відбуваються на покритті при наявності шару води і визначення критичної швидкості транспортного потоку по мокрому покриттю.

2. Встановлено, що явище аквапланування підпорядковується нормальному закону розподілу критичної глибини шару води, яка обумовлює критичну швидкість руху автомобілів  $V_k$ .

3. Визначені залежності критичної швидкості аквапланування автомобіля від товщини шару рідини на асфальтобетонному покритті та вплив товщини шару на ризик появи аквапланування автомобіля.

4. Удосконалена математична модель оцінки впливу нерівностей покриття дороги на швидкість аквапланування автомобіля з визначенням залежностей довжини і часу спливання колеса від стану покриття.

5. Розроблені теоретичні основи забезпечення надійності дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтового бетону і армуючим базальтоволоконним прошарком, що забезпечує повний відвід води з поверхні і попереджує появу аквапланування автомобілів.

6. Удосконалені розрахункові схеми для визначення товщини шарів дорожньої конструкції, що попереджує виникнення аквапланування автомобілів під час складних погодно-кліматичних умов.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРИСТОГО АСФАЛЬТОВОГО БЕТОНУ ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ**

### **3.1. Опис виконання експериментальних досліджень**

Основною задачею експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних положень про можливість попередження появи аквапланування автомобілів на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки, шляхом улаштування двошарового покриття, в якому верхній шар укладається із гарячого пористого асфальтобетону, нижній шар – гарячий крупнозернистий асфальтобетон і між шарами влаштовується прошарок із геотекстильного матеріалу – базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене).

Для цього необхідно виконати такі експериментальні роботи:

- визначити фізико-механічні властивості пористого асфальтового бетону;
- визначити фізико-механічні властивості базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене);
- визначити структурно-механічні властивості пористого асфальтобетону;
- визначити зсувостійкість, деформативність при від'ємній температурі, коефіцієнт заповнення пор мінерального остова бітумом;
- дослідити довговічність пористого асфальтобетону в камері штучного клімату.

### **3.2. Дослідження фізико-механічних властивостей пористого асфальтового бетону**

Дослідження фізико-механічних властивостей пористого щибеневого асфальтобетону проводили згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-119.

Для порівняння були використані зразки асфальтобетону дрібнозернистого щільного типу "Б", який найчастіше використовується у верхньому шарі покриття (рис.3.1).



Рис. 3.1. Зразки асфальтобетону дрібнозернистого щільного типу Б

Кожен зразок виготовлявся в сталевій формі за допомогою ущільнення гідравлічним пресом. Форми для виготовлення зразків представляють собою сталеві повні циліндри. При ущільненні в них сумішей забезпечувалось двостороннє прикладання навантаження. Це досягалось шляхом передачі тиску на ущільнювану суміш.

Робочі моменти нагрівання сталеві форми та виготовлення зразків наведені на рис. 3.2 та 3.3.



Рис. 3.2. Робочий момент нагрівання сталеві форми



Рис. 3.3. Робочий момент виготовлення асфальтобетонного зразка

При виготовленні зразків із гарячих асфальтобетонних сумішей сталеві форми нагрівали до температури 80 °С. При цьому суміш рівномірно розподілялась в формі.

Для приготування пористого щебеневого асфальтобетону використовували:

- гранітний щебінь фракцій 5-20 мм і 20-40 мм виробництва Новополтавського кар'єру;
  - відсів дроблення ТОВ «Прибузький гранітний кар'єр»;
  - бітум нафтовий марки БНД 60/90 виробництва ВАТ «Ліник» (Україна).
- Фізико-механічні властивості гранітного щебеню наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Фізико-механічні властивості гранітного щебеню**

№ п/п	Найменування показників властивостей щебеневого матеріалів	Фактичні значення показників		Вимоги до властивостей щебеневого матеріалів за ДСТУ Б В.2.7- 30-2013
		10-20	20-40	
1	Дійсна щільність, г/см <sup>3</sup>	2,72		-
2	Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,66		-
3	Насипна щільність, г/см <sup>3</sup>	1,35	1,42	-
4	Зерновий склад. Повні залишки на ситах, %			
	d	97,0	98,0	Понад 90 до 100 вкл
	0,5(d+D)	64,0	67,0	Понад 30 до 80 вкл.
	D	5,0	3,6	До 10 вкл

Закінчення таблиці 3.1

5	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форм, %.	24,0	22,0	До 10 вкл.
	Група щебневих матеріалів за формою зерен	Обкатана		-
6	Вміст зерен слабких порід, %.	0	0	До 5
7	Вміст пиловидних та глинистих часток, %	0,3	0,2	До 1
8	Вміст глини у грудках, %.	0	0	До 0,25
9	Водопоглинання, %	0,4	0,3	-
10	Дробильність при стиску у циліндрі, втрата за масою, % Марка щебеню за дробильністю	11,0	10,8	До 12 вкл.
		1200	1400	1200
11	Стиранність у поличному барабані, втрата за масою, % Марка щебеню за стиранністю	21,4	22,3	До 25 вкл.
		Ст-I	Ст-I	Ст-I
12	Марка щебеню за морозостійкістю	F - 200		Не менше F15

Дані таблиці 3.1 свідчать, що щебінь повністю відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-30-2013 і може бути використаний для приготування асфальтового бетону.

Гранулометричний (зерновий) склад відсіву дроблення наведений в таблиці 3.2.

Фізико-механічні властивості і груповий склад бітуму, що використовувався, наведені в таблицях 3.3-3.4. Як видно із проведених досліджень, бітум, що прийнятий для приготування пористого асфальтобетону, за своїми фізико-механічними показниками відповідає вимогам ДСТУ 4044.

Таблиця 3.2

**Гранулометричний (зерновий) склад відсіву дроблення**

Назва щебеневого кар'єру	Повний залишок на ситі з розміром зерен, мм, у відсотках за масою								
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
ТОВ «Прибузь- кий гранітний кар'єр»	3	11	23	36	50	65	81	92	100

Таблиця 3.3

**Фізико-механічні властивості бітуму марки БНД 60/90**

Найменування показників	Фактичні значення показників	Вимоги ДСТУ 4044
Глибина проникнення голки при 25 °С, 0,1 мм	88,0	від 61 до 90
Температура розм'якшення за К, °С	51,0	від 47 до 53
Розтяжність (дуктильність) при t=25 °С, см	96,0	не менше 55
Температура крижкості, °С, не вище	-18,0	-17,0

За груповим складом видно, що в бітумі достатня кількість асфальтенів, найбільш реакційноздатних (активних) груп і підвищена кількість смол, що свідчить про його значну еластичність. Тобто, при змішуванні з мінеральною частиною, бітум буде виявляти фізико-хімічну взаємодію, особливо з

мінеральним порошком, забезпечуючи асфальтовому бетону підвищену стійкість до дії транспортних навантажень, міцність і довговічність.

Таблиця 3.4

### Груповий склад бітуму марки БНД 60/90

Назва бітуму	Компоненти групового складу	Вміст компонентів, % за масою
Бітум нафтовий виробництва ВАТ «Ліник»	Асфальтени	16,5
	Смоли	31,0
	Масла	45,5
	Інші складові	2,0

### 3.3 . Розрахунок оптимального складу асфальтового бетону

Розрахунок оптимального складу пористого асфальтового бетону виконувався з використанням комплексу гратчастого планування експерименту, за допомогою якого значно скорочується кількість експериментів і строки їх проведення. Були побудовані залежності властивостей від складу із застосуванням ґраток Шеффе. Отримана властивість представляється у вигляді полінома деякого ступеню  $n$  від  $g$  переміщення, що є концентраціями компонентів суміші. Якщо концентрація складових в долях відповідно  $x_1, x_2, x_3$ , то повинна дотримуватись умова  $x_1+x_2+x_3=1$ .

Оскільки необхідно вивчити локальну область зміни властивостей від складу, то на концентрації кожного складового компонента були накладені відповідні обмеження. Використовуючи метод псевдокомпонентів, були задані нижні границі змінних: гранітний щебінь  $x_1 \geq a$ ; відсів дроблення  $x_2 \geq b$ ; бітум  $x_3 \geq c$ .

Підобласть, що вивчається, являє собою рівнобічний трикутник, сторони якого паралельні сторонам концентраційного трикутника.

Розрахунок псевдокомпонентів  $z$  відбувається через концентрації  $x_i$  за формулами:



$$Z_1 = \frac{x_1 - a}{1 - a - b - c}, \quad (3.1)$$

$$Z_2 = \frac{x_2 - b}{1 - a - b - c}, \quad (3.2)$$

$$Z_3 = \frac{x_3 - c}{1 - a - b - c}. \quad (3.3)$$

Для апроксимації в роботі вибрано неповне кубічне рівняння.

Матриця планування наведена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

### Загальний вигляд матриці планування

№ дослідду	План у псевдокомпонентах			Відносний вміст вихідних компонентів			Фізико-механічні показники	
				X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	експери- ментальні	розрахун- кові
1	1	0	0	0,2	0,775	0,045	y <sub>1</sub>	y' <sub>1</sub>
2	0	1	0	0,15	0,80	0,05	y <sub>2</sub>	y' <sub>2</sub>
3	0	0	1	0,12	0,845	0,035	y <sub>3</sub>	y' <sub>3</sub>
4	0,5	0,5	0	0,10	0,87	0,030	y <sub>4</sub>	y' <sub>4</sub>
5	0,5	0	0,5	0,08	0,89	0,03	y <sub>5</sub>	y' <sub>5</sub>
6	0	0,5	0,5	0,078	0,89	0,03	y <sub>6</sub>	y' <sub>6</sub>
7	0,333	0,333	0,333	0,073	0,89	0,33	y <sub>7</sub>	y' <sub>7</sub>

Після реалізації експерименту властивість y<sub>2</sub> апроксимується у вигляді полінома:

$$y'_i = \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \beta_3 z_3 + \beta_{12} z_1 z_2 + \beta_{13} z_1 z_3 + \beta_{23} z_2 z_3 + \beta_{123} z_1 z_2 z_3. \quad (3.4)$$

Перевірка адекватності виконується за критерієм Стьюдента (t):

$$t = \frac{\Delta y \sqrt{r}}{S \sqrt{1}}, \quad (3.5)$$

де

$\Delta y$  – величина, що характеризує різницю між експериментальним і розрахунковим значенням властивостей матеріалу в перевірочній точці:

$$\Delta y = y' - \bar{y} , \quad (3.6)$$

де

$y'$  – середнє розрахункове значення;

$\bar{y}$  – середнє експериментальне значення:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{r} , \quad (3.7)$$

де

$r$  – число паралельних дослідів у перевірочній точці.

Якщо  $t < t_T$ , де  $t_T$  – табличне значення критерія Стюдента, що визначається за числом ступенів вільності  $f = r - 1$ , то рівняння (3.5) адекватно і може бути використане для описання вибраної підобласті.

Згідно з вищенаведеним, для щебеневого пористого асфальтобетону були прийняті такі обмеження, у % за масою:  $X_1$  гранітний щебінь фр. 20-40 мм  $\leq 15,0$ ; гранітний щебінь фр. 5-20 мм і відсів дроблення  $\leq 81,5$ ; бітум  $\leq 4,5$ .

Матриця, що складена на пористий асфальтобетон, включає 7 основних дослідів (1-7), 3 перевірочних (8-10), 1 розрахунковий та наведена в таблиці 3.6.

Перевірка адекватності виконана на прикладі границі міцності при стиску при 20 °C (R20) – у1 за даними перевірочних дослідів 8-10 (середнє значення  $\bar{y}_1 = 2,46$ , розрахункове значення  $y' = 2,49$ , відносна похибка  $\Delta y = 0,003$ , дисперсія дослідів  $S = 0,289$ ).

В симплексній системі координат при  $Z_1 = 0,125$ ,  $Z_2 = 0,125$ ,  $Z_3 = 0,750$ ,  $a = 0,4$ . Критерій Стюдента дорівнює  $t = 0,203$ . Табличне значення критерію Стюдента  $t_T$  при числі ступенів вільності  $f = 3 - 1 = 2$  і рівню значимості  $\rho = 5\%$   $t_T = 4,3$  становить :  $t = 0,203 < t_T = 4,3$  – рівняння адекватне. Таким чином, після проведених розрахунків до досліджень, прийнятий такий склад пористого щебеневого асфальтобетону, у % за масою:

- щебінь гранітний фр. 20-40 мм – 15,0;
- щебінь гранітний фр. 5-20 мм – 50,0;
- відсів дроблення – 30,5;
- бітум нафтовий марки БНД 60/90 – 4,5.

Таблиця 3.6

## Матриця складу пористого щебеневого асфальтобетону

№ дослідіду	План у псевдокомпонентах			Складові компоненти			Границя міцності на стиск, МПа за температури °С, в сухому стані			Водонасичення, % за об'ємом
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	20, R <sub>20</sub>	50, R <sub>50</sub>	0, R <sub>0</sub>	
1	1	0	0	0,2	0,755	0,045	2,2	1,2	11,0	5,0
2	0	1	0	0,15	0,800	0,05	2,3	1,25	10,2	4,5
3	0	0	1	0,12	0,845	0,035	2,4	1,3	10,5	4,5
4	0,5	0,5	0	0,10	0,870	0,030	2,2	1,2	10,3	4,8
5	0,5	0	0,5	0,08	0,890	0,030	2,1	1,1	11,5	4,3
6	0	0,5	0,5	0,078	0,890	0,030	2,3	1,1	11,5	4,2
7	0,3333	0,333	0,3333	0,073	0,890	0,033	1,9	0,96	13,5	6,5
8	0,125	0,125	0,750	0,065	0,760	0,075	2,4	1,3	10,8	4,5
9	0,125	0,125	0,750	0,065	0,860	0,075	2,5	1,3	10,5	4,4
10	0,125	0,125	0,750	0,065	0,860	0,075	2,5	1,3	10,5	4,4
Середнє значення у перевіірочній точці							2,46	1,30	10,6	4,43
Розрахункове значення у перевіірочній точці							2,49	1,34	10,9	4,46

Гранулометричний (зерновий) склад крупнозернистого асфальтобетону тип «А», що укладається в нижній шар покриття, наведений в таблиці 3.7.

### 3.4. Визначення фізико-механічних властивостей пористого асфальтового бетону

Таблиця 3.7

#### Гранулометричний склад крупнозернистого асфальтобетону

Найменування матеріалів	Вміст, %	Пройшло крізь сито, %, розміром мм										
		70,0	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Щебінь гранітний фр. 20-40 мм	30	30,0	10,3	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Щебінь гранітний фр. 5-20 мм та відсів дроблення	70	70,0	70,0	64,7	49,0	33,7	26,0	18,9	14,0	9,7	5,1	3,0
Всього	100	100	80,3	65,4	49,0	33,7	26,0	18,9	14,0	9,7	5,1	3,0
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119		100-95	80-65	73-55	65-45	53-35	42-24	30-17	22-12	16-9	12-6	10-4

Дослідження фізико-механічних властивостей пористого асфальтового бетону, що пропонується для улаштування верхнього шару покриття на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, проводилось за стандартними методиками згідно ДСТУ Б В.2.7-119.

Результати досліджень наведені в таблиці 3.8.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 3.8, видно, що пористий щебеневий асфальтобетон повністю відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119, тобто підібраний склад є оптимальним і може бути використаний для улаштування верхнього шару покриття для попередження появи аквапланування автомобілів.

Таблиця 3.8

**Фізико-механічні властивості пористого щебеневого асфальтового бетону**

Найменування показників	Асфальтобетон пористий	
	Отримані дані	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119
Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	22,8	23,0
Залишкова пористість, % за об'ємом	9,6	10,0
Водонасичення, % за об'ємом	4,2	-
Границя міцності на стиск, МПа за температури, °С		
0, не більше	11,5	12,0
20, не менше	3,2	2,5
50, не менше	1,1	1,2
Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,85	0,85-0,75
Примітки: 1. Значення надані для регіону А-2. Згідно таблиці А.1 ДСТУ Б В.2.7-119 районування України за кліматичними умовами роботи асфальтобетонного покриття. 2. Вимоги до показників надані для асфальтобетонів I та II марки		

**3.5. Дослідження фізико-механічних властивостей базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене)**

Полотно базальтове суцільне марки ПСБ-Д (просочене) укладається між шарами асфальтового бетону (верхнім і нижнім) для швидкого відведення води по ухилу на укисну частину. Дренування поверхні покриття, влаштованого із пористого асфальтобетону, відбувається за рахунок збільшеної кількості пор, що дозволяє вбирати воду на всій площі, а прошарок відводить просочену воду

по площині з поперечними і поздовжніми ухилами. Це попередить явище аквапланування автомобілів під час дощу і підвищить безпеку руху транспортних засобів. Крім цього, використання прошарку марки ПСБ-Д (просочене) дозволить підсилити конструкцію дорожнього одягу і забезпечити її довговічність. Фізико-механічні властивості базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) визначались згідно з вимогами ГБН В 2.3-37641918-544 [82] і наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

**Фізико-механічні властивості базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене)**

Назва показника	Одиниця вимірювання	Отримані дані	Вимоги ГБН В.2.3-37641918-544
Зовнішній вигляд	-	Суцільне полотно просочене коричневого кольору	-
Поверхнева щільність	г/см <sup>2</sup>	185,0	135-2000
Товщина	мм	0,8	0,25-0,75
<b>Механічні властивості</b>			
Міцність на розтяг (для армування)	кН/м	130,0	30-1200
Міцність на втому (витривалість)	Кількість циклів	Витримує до 80,0	50-100
Міцність на роздирання	Н	140,0	90-1300
Статичне продавлювання плунжером	Н	60,0	45-450
Коефіцієнт зсуву	%	54,0	60-100
Дренуюча здатність матеріалу під навантаженням	м <sup>2</sup> /хв	0,03·10 <sup>3</sup>	0,01-2,0·10 <sup>-3</sup>

Стійкість			
Пошкоджуваність при укладанні	% від міцності геотекстилю	30,0	0-70
Стійкість до дії агресивних середовищ. Температурна деградація при дії високих температур (гарячий асфальтобетон)	°C	1000	Не менше 170,0
Кислотна стійкість до дії 0,5 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , % при кип'ятінні	% за масою	99,9	-
Лужна стійкість до дії NaOH при кип'ятінні	% за масою	96,5	-

### 3.6. Дослідження деформаційних властивостей пористого асфальтобетону (зсувостійкості і тріщиностійкості)

#### 3.6.1. Дослідження зсувостійкості пористого асфальтобетону

Визначення зсувостійкості для пористого асфальтового бетону є важливим показником, який характеризує його стійкість до утворення пластичних деформацій (колій, хвиль, тощо) в літній період експлуатації. Тому було проведено визначення зсувостійкості методом трьохосового стиску при двох ступенях бокового тиску 0,1 МПа і 0,4 МПа. Температура зразка асфальтобетону, що знаходився в стабілометрі, підтримувалась автоматично за допомогою ультратермостату.

Температура задавалась контактним термометром на рівні 50 °C і підтримувалась протягом часу випробувань з точністю до  $\pm 1,0$  °C. Вертикальне навантаження доводилось за допомогою 10-ти тонного гідравлічного пресу із швидкістю прикладання 3 мм/хв.

В результаті проведених випробувань були отримані основні показники зсувостійкості – коефіцієнт внутрішнього тертя  $\varphi$  °C і опір зсуву  $\tau$  МПа.

Для можливості порівняння отриманих результатів паралельно випробувались зразки щільного дрібнозернистого асфальтобетону тип «А».

Результати досліджень наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

**Показники зсувостійкості пористого асфальтобетону**

Найменування асфальтобетону	Кут внутрішнього тертя, $\varphi$ , град	Коефіцієнт внутрішнього тертя $\mu$	Опір зсуву $\tau$ , МПа
Пористий щебневий асфальтобетон	43,2	0,91	0,28
Щільний дрібнозернистий асфальтобетон тип «А»	43,0	0,90	0,28

Аналіз результатів досліджень свідчить, що незважаючи на збільшену кількість пор показники зсуву пористого асфальтобетону знаходяться на рівні показників щільного дрібнозернистого асфальтового бетону, тобто буде виявляти стійкість до дії високих літніх температур і не буде виявляти схильність до утворення хвиль, напливів тощо.

**3.6.2. Дослідження деформативної здатності при від'ємних температурах пористого асфальтового бетону**

Деформативна здатність асфальтового бетону при від'ємних температурах (тріщиностійкість) є одним із головних факторів, що забезпечить працездатність покриття в зимовий період експлуатації.

Випробування проводились методом на розтяг при згині на зразках-балочках (4x4x16 см) в діапазоні температур від  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Схема навантаження зразка-балочки являє собою силу, що прикладається по середині. Випробування проводили при швидкості руху нижньої траверси гідравлічного пресу 100 мм/хв.

Динамічний модуль пружності вимірювали на приладі механічної дії маятникового типу (автор Б.С. Радовський та І.М. Щербаков).

В результаті випробувань, використовуючи теорію пружності, були визначені міцність на розтяг при згині, модуль пружності і відносне подовження при розриві. Результати досліджень наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

### Показники тріщиностійкості пористого асфальтового бетону

Найменування асфальтобетону	Температура випробувань, °С	Границя міцності при згині $R_{zg}$ , МПа	Модуль пружності $E$ , МПа·10 <sup>-3</sup>	Відносне подовження $\varepsilon$ , мм·10 <sup>-3</sup>
Пористий щебеневий	-20	7,9	6,0	0,5
	-10	8,3	6,6	0,9
	0	7,0	3,1	1,5
	+10	2,2	1,0	2,3
	+20	1,7	0,2	3,0
Щільний дрібнозернистий тип «А»	-20	6,7	7,2	0,2
	-10	6,9	6,4	0,4
	0	5,8	3,5	0,7
	+10	2,0	1,6	1,3
	+20	1,0	0,8	1,6

Аналізуючи дані таблиці 3.11, видно, що зразки пористого щебеневого асфальтового бетону виявляють при низьких температурах розтяжність не менше, ніж щільний дрібнозернистий асфальтовий бетону, тобто будуть мати достатню деформативну здатність.

### 3.6.3. Розрахунок коефіцієнту заповнення пор мінерального остова бітумом

Коефіцієнт заповнення пор мінерального остова бітумом є показником структури пористого асфальтобетону, який показує постійний об'єм вільного бітуму в суміші при будь-якій щільності мінерального остова. Це дозволяє забезпечити високу якість пористої асфальтобетонної суміші.

Об'єм заповнених пор мінерального остова прийнятий за одиницю.

Коефіцієнт заповнення пор мінерального остова бітумом розраховується за формулою:

$$K_{з.п.} = \frac{\left( \frac{\gamma_{n0} - \gamma_0}{\gamma_{n0}} \right) - \left( 1 - \frac{\gamma}{\gamma_{na}} \right)}{\left( \frac{\gamma_n - \gamma_0}{\gamma_{n0}} \right)}, \quad (3.8)$$

де

$\gamma_0$  – об'ємна вага мінерального остова пористого асфальтобетону, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma$  – об'ємна вага асфальтобетону, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{n0}$  – середня щільність (питома вага) мінерального остова асфальтобетону, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{na}$  – щільність асфальтобетону, г/см<sup>3</sup>;

$$K_{з.п.} = \frac{\left( \frac{2,23 - 0,86}{2,23} \right) - \left( 1 - \frac{1,45}{2,43} \right)}{\left( \frac{2,23 - 0,86}{2,23} \right)} = 0,3.$$

Об'єм заповнення пор мінерального остова бітумом складає:

$$V_{з.п.} - K_{з.п.} = 1 - 0,3 = 0,7.$$

Тобто, пори мінерального остова пористого асфальтобетону заповнені повністю бітумом, що підтверджує оптимальну структуру розробленого складу асфальтового бетону.

### 3.7. Дослідження довговічності пористого асфальтового бетону

Дослідження довговічності пористого асфальтового бетону проводилось в камері штучного клімату типу 3001 «Feutron» (Німеччина), де створюються штучні умови для регулювання змін кліматичних факторів.

Терміни витримування зразків в камері штучного клімату визначаються на основі положення, що найбільш інтенсивні зміни властивостей асфальтобетону відбуваються в перші 5-6 років експлуатації.

Відповідність часу витримування зразків в камері клімату роботи покриття в природних умовах приймаються згідно з методикою Роде, де один місяць роботи покриття в природних умовах відповідає витримуванню зразків протягом 10 годин. Рік роботи - 120 годин.

В даній роботі зразки асфальтового бетону витримувались протягом 720 годин, що відповідає 6 рокам роботи матеріалу в покритті.

Через кожні 180 годин зразки виймають і проводять випробування для визначення фізико-механічних властивостей, що наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

#### Дослідження довговічності пористого асфальтового бетону

Найменування асфальтобетону	Час витримування зразків, год	Границя міцності на стиск, МПа, за температури, °С			Водонасичення	Об'єм на маса, г/см <sup>3</sup>
		20	50	0		
Пористий щебневий	0	3,2	1,1	11,5	4,2	2,21
	180	3,2	1,1	11,5	4,2	2,22
	360	3,6	1,2	11,6	4,2	2,22
	540	3,6	1,3	11,6	4,3	2,22
	720	3,6	1,35	11,6	4,3	2,22

Закінчення таблиці 3.12

Щільний дрібнозернис- тий	0	3,4	1,25	12,2	2,8	2,36
	180	3,4	1,3	12,0	2,9	2,36
	360	3,4	1,2	12,0	2,95	2,35
	540	3,3	1,2	12,0	3,00	2,37
	720	3,3	1,2	12,0	3,00	2,37

Аналізуючи дані таблиці 3.12, видно, що пористий щебневий асфальтовий бетон в процесі експлуатації підвищує міцнісні показники. Це можна пояснити процесами полімеризації та окислення, що відбуваються в бітумі з утворенням жорсткої просторової структури із асфальтенів з підвищенням в'язкості асфальтов'яжучої речовини і фізико-механічних показників асфальтобетону. При співставленні зміни властивостей пористого щебневого асфальтового бетону з щільним дрібнозернистим, видно, що вони замінюються аналогічно і дещо в меншому ступені.

Тобто, покриття, влаштоване із пористого щебневого асфальтового бетону, є довговічним.

### Висновки до розділу 3

1. Проведені лабораторні дослідження підтвердили теоретичні положення про раціональність укладання пористого асфальтобетону для ліквідації появи аквапланування автомобілів під час дії негативних погодних умов на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.

2. Виконані лабораторні дослідження показали, що фізико-механічні властивості пористого асфальтового бетону відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119, тобто склад підібраний вірно і є оптимальним.

3. Дослідження фізико-механічних властивостей базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) повністю відповідають вимогам ГБН В.2.3-337641918-544 і це є міцний матеріал, який виконує функції водовідведення

надлишкової води із дорожньої конструкції та армування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону.

4. Дослідження зсувостійкості, тріщиностійкості і довговічності пористого асфальтового бетону показали, що він є зсувостійким, тріщиностійким і довговічним матеріалом. Зміни властивостей під дією погодно-кліматичних факторів (ультрафіолетове випромінювання, зволоження) відбуваються подібно до щільного дрібнозернистого асфальтобетону, що використовується на більшості доріг України.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З ПОКРИТТЯМ ІЗ ПОРИСТОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Основною задачею досліджень транспортно-експлуатаційних показників (ТЕП) автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, де укладається покриття із пористого щибенового асфальтового бетону, є оцінка зміни в часі ТЕП і порівняння їх із змінами ТЕП автомобільних доріг з покриттям із традиційних матеріалів.

Для оцінки ТЕП визначались:

- міцність дорожнього одягу;
- рівність покриття;
- коефіцієнт зчеплення;
- фізико-механічні властивості асфальтового бетону (шляхом відбору кернів з покриття).

Зміни ТЕП автомобільної дороги оцінювались за результатами дослідно-експериментальних робіт, які проводились на ділянці дороги III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700 з покриттям із пористого асфальтового бетону.

Автомобільна дорога Львів-Тернопіль на ділянці км 60+500 – км 62+700 була вибрана як дослідна, тому що на цьому відрізку є підвищений рівень небезпеки аквапланування автомобілів під час атмосферних опадів.

#### **4.1. Конструкція дорожнього одягу досліджуваної ділянки автомобільної дороги Львів-Тернопіль**

Будівництво дослідної ділянки відбувалось на автомобільній дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 - км 62+700 на замовлення Служби автомобільних доріг у Львівській області. Генеральний підрядник - ТОВ «Євробан-захід».

Необхідно відмітити, що незважаючи на те, що за геометричними параметрами автомобільна дорога Львів-Тернопіль відноситься до III технічної категорії, її інтенсивність і вантажонапруженість відповідає II технічній категорії. Тому забезпечення безпеки руху на ній є першочерговою задачею.

Згідно кліматичної зони, в якій розташована дорога, там випадає багато атмосферних опадів, що сприяє появі аквапланування автомобілів, особливо на відрізку км 60+500 - км 62+700, який і був вибраний як дослідна ділянка. Загальна протяжність дослідної ділянки 2,2 км. Дослідна ділянка на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль була побудована в 2017 році під час проведення робіт з капітального ремонту з повною заміною шарів покриття.

Для підтвердження теоретичних положень щодо забезпечення відведення надлишкової води, надійності і підвищення міцності дорожньої конструкції за рахунок використання прошарку – базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене), що укладається між шарами покриття: верхній шар покриття із пористого асфальтобетону, нижній шар із крупнозернистого асфальтобетону на дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль, поряд ( км 62+700 – км 65+000) була влаштована ділянка із гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу «А». Загальна протяжність контрольної ділянки 2,3 км.

Для будівництва дослідної ділянки дороги III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 - 62+700 розроблена конструкція дорожнього одягу, що попереджує виникнення аквапланування автомобілів завдяки улаштуванню верхнього шару покриття із гарячого пористого щебеневого асфальтобетону і укладанню під верхній шар базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) для швидкого відведення надлишкової води на укісну частину. Розроблена конструкція дорожнього одягу наведена на рисунку 4.1.

#### **4.2. Розрахунок конструкції дорожнього одягу**

Розрахунок конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги Львів-Тернопіль на ділянці км 60+500 – км 62+700 проводився за допустимим пружним прогином згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186.



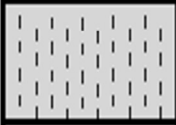
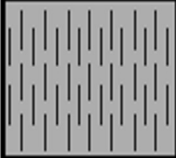
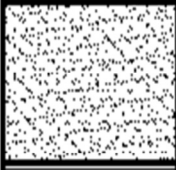
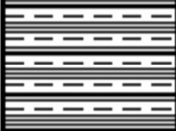
	Асфальтобетон пористий щебеновий АСГ Др.П.А.Б.НПІ.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 - 5,0 см
	Базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене) Асфальтобетон крупнозернистий АСГ Кр.Щ.А1.НПІ.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 - 10,0 см
	Щебенево-піщана суміш ЩПС 40 (оброблена цементом), марка матеріалу М 20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016- 15,0 см
	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30-2013 - 20,0 см
	Пісок крупнозернистий згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95 - 20,0 см
	Ґрунт земляного полотна - суглинок важкий пілуватий

Рис. 4.1. Конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700 (дослідна ділянка)

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

$$K_{\text{міц}} \leq \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}}, \quad (4.1)$$

де

$K_{\text{міц}}$  – коефіцієнт міцності дорожнього одягу для дороги III технічної категорії з капітальним типом дорожнього одягу  $K_{\text{міц}}=1,33$ ;

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

$E_{\text{потр}}$  – потрібний модуль пружності з урахуванням типу покриття та інтенсивності дії навантаження ( $E_{\text{потр}}=225$  МПа).

Розрахункові показники наведені в таблиці 4.1. До розрахунку прийнята величина модуля пружності на поверхні шару земляного полотна  $E_{\text{гр}}=40$  МПа.

Розрахунок ведеться пошарово за допомогою номограм, які зв'язують відношення  $E_2/E_1$  – модулі пружності верхнього і нижнього шарів, відносну товщину  $h$  і-го шару до діаметру навантаженої площини  $D$ , тобто  $h/D$  і



відношення загального модуля пружності на поверхні двошарової системи до модуля пружності верхнього шару  $E_{заг}/E_1-E_i$ .

Таблиця 4.1

**Розрахункові показники конструктивних шарів дорожнього одягу на дослідній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700)**

Номери шарів	Матеріал шару	Розрахункові показники $E, МПа$
1	2	3
1	Асфальтобетон АСГ.Др.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90	2800
2	Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90	3200
3	Щебенево-піщана суміш ЩПС 40 (оброблена цементом), марка матеріалу М20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39	700
4	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	180
5	Пісок крупнозернистий згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95	100
6	Ґрунт земляного полотна – суглинок важкий пілуватий	40

Параметри до розрахункової схеми, що визначені згідно з розрахунковими показниками, наведених в таблиці 4.1, наведені в таблиці 4.2.

$$K_{мц} \leq \frac{504}{225} = 2,24.$$

$$K_{мц} = 2,24 > K_{м.ц.} = 1,33.$$

Умова виконана. Дорожня конструкція відповідає вимогам надійності і міцності.

Таблиця 4.2

**Параметри до розрахункової схеми конструкції дорожнього одягу**

Е/Е	Н/Д	Е <sub>і</sub>	Е <sub>потр</sub>
-	-	40	-
0,40	0,540	58	-
0,322	0,540	91	-
0,130	0,405	168	-
0,052	0,270	288	-
-	-	432	-
0,154	0,135	504	225

**4.3. Розрахунок ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБП-Д (просочене)**

Розрахунок ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтобетону і укладанням під шар покриття прошарку ПСБ-Д (просочене) виконувався згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186 [124].

Лінійний коефіцієнт армування визначається за залежністю:

$$K_A = \left\{ \frac{(1 - \mu_{a/b}) \cdot E_a}{(1 - \mu_a) \cdot E_{a/b}} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (4.2)$$

де

$E_{a/b}$  і  $\mu_{a/b}$  – модуль пружності асфальтобетонного шару і його коефіцієнт Пуасона ( $\mu_{a/b}=0,3$ );

$E_a$  і  $\mu_a$  – лінійний модуль пружності армуючого прошарку та його коефіцієнт Пуасона ( $\mu_a=0,4$ ).

Лінійний модуль пружності армуючого прошарку визначається за формулою:

$$E_a = 500 \cdot \left( \frac{R_a}{\varepsilon_p} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (4.3)$$

де

$R_a$  – міцність при розриві ПСБ-Д – 120 кН/м;

$\varepsilon_p$  – відносне подовження при розриві у частках одиниці ( $\varepsilon_p=0,05$ );

500 – коефіцієнт приведення розмірностей.

$$E_a = E_a = 500 \cdot \left\{ \frac{120}{0,05} \right\}^{\frac{1}{3}} = 6515 \text{ МПа} \quad .$$

Тоді лінійний коефіцієнт ефективності армування ( $K_A$ ) дорівнює:

$$K_{\text{эф.А}} = \left\{ \frac{(1 - 0,3) \cdot 6515}{(1 - 0,4) \cdot 2800} \right\}^{\frac{1}{2}} = 1,58$$

Еюра модуля пружності армованого асфальтобетону в межах активної зони армування визначається за формулою:

$$F_a = \int_0^H E(z) dz \quad , \quad (4.4)$$

де

$E(z)$  – зміна модуля пружності в межах активної зони армування.

$$E_z = E_{a/\sigma} \left\{ 1 + \frac{(K_{\text{эф}} - 1)z}{H} \ln e^{\frac{z}{h}} \right\} \quad , \quad (4.5)$$

де

$H$  – товщина активної зони армування, що визначається за формулою:

$$H = 1,5 d \quad , \quad (4.6)$$

де

$d$  – розмір максимальної кам'яної фракції в асфальтобетоні, см  $H=1,5*4=6,0$  см.

$$F_a = \int_0^6 2800 \left( 1 + \frac{(1 \cdot 58 - 1)z}{6} \ln e^{\frac{z}{6}} \right) dz = 15840 \quad . \quad (4.7)$$

Площа еюри модуля пружності неармованого асфальтобетону в межах активної зони армування дорівнює ( $F_H$ ):

$$F_H = \int_0^H E_{a/\sigma}(z) dz = \int_0^H 2800 dz = 11700 \quad . \quad (4.8)$$

Коефіцієнт ефективності армування за модулем пружності дорівнює:

$$K_A = \frac{F_a}{F_H} = \frac{15840}{11700} = 1,35 \quad . \quad (4.9)$$

Модуль пружності нижнього армованого шару асфальтобетону крупнозернистого товщиною  $h = 10$  см визначається із формули:

$$\begin{aligned} E_{a/6} &= \frac{K_A \cdot E_{a/6} \cdot H + E_{a/6} (h - H)}{h} = \\ &= \frac{1,35 \cdot 3200 \cdot 6 + 3200 (10 - 6)}{10} = 3872 \text{ МПа} \quad . \quad (4.10) \end{aligned}$$

При новому значенні модуля пружності нижнього армованого шару асфальтобетону, модуль пружності верхнього шару становитиме:

$$E_v = \frac{2400 \cdot 6 + 3872 \cdot 10}{16} = 3320 \text{ МПа} \quad . \quad (4.11)$$

За номограмою [124] визначається напруження розтягу при згині  $\sigma_r$  у верхньому шарі дорожнього одягу:

$$\overline{\sigma_r} = 1,55.$$

Тоді розрахункове напруження розтягу при згині становитиме:

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \cdot p \cdot k_\delta, \quad (4.12)$$

де

$p$  – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

$p = 0,6$  для навантаження групи А2;

$k_\delta$  – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами,  $k_\delta = 0,85$ :

$$\sigma_r = 1,55 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,791 \text{ МПа} \quad .$$

Тоді перевіряється умова:

$$K_{mц} \leq \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r}, \quad (4.13)$$

де

$R_p$  – міцність матеріалу при багаторазовому розтягу:

$$R_p = R_{\text{лаб}} \cdot K_m \cdot K_{\text{к.п.}} \cdot K_T, \quad (4.14)$$

де

$R_{\text{лаб}}$  – границя міцності на розтяг при згині для пористого асфальтобетону на бітумі БНД 60/90,  $R_{\text{лаб}}=8,0$  МПа згідно [124] Додаток Е, таблиця Е1;

$k_m$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов,  $k_m=0,75$ ;

$k_T$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в результаті температурно-усадкових впливів,  $k_T=0,80$ ;

$K_{\text{к.п.}}$  – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторюваність навантажень на дорозі:

$$K_{\text{к.п.}} = K_{\text{пр}} \cdot \sum N^{-\left(\frac{1}{m}\right)}, \quad (4.15)$$

де

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період,  $K_{\text{пр}}=7,2$ ;

$m$  – показник втоми,  $m=4,5$ ;

$\sum N$  – сумарна інтенсивність руху;  $K_{\text{к.п.}} = 0,4$ .

Тоді  $R_p = 8,0 \cdot 0,75 \cdot 0,80 \cdot 0,4 = 1,92$ .

Перевіряється умова:

$$K_{\text{ми}} = \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r} = \frac{1,35 \cdot 1,92}{0,791} = 3,27.$$

$$1,33 \leq \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r} = \frac{1,35 \cdot 1,92}{0,791} = 3,27.$$

Армована дрожня конструкція збільшує свою міцність у 2,5 рази. Таким чином, розрахована дорожня конструкція з покриттям із пористого асфальтового бетону з укладанням базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) відповідає всім критеріям міцності.

Ефективність армування заключається в забезпеченні надійності і міцності дорожньої конструкції протягом нормативного терміну експлуатації із

забезпеченням відведення води з поверхні покриття, тобто попередження виникнення аквапланування автомобілів під час дощу або танення снігу.

#### **4.4. Експериментальні дослідження руху автомобілів по покриттю із шаром води**

Дослідження проводились на автомобільній дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль з інтенсивним і вантажонапруженим рухом транспорту на ділянці км 62+700 – км 65+000, де в 2017 році був укладений шар покриття із гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону (контрольна ділянка). Стан покриття задовільний, поверхня рівна, тріщин і деформацій немає.

Обстеження показало, що незважаючи на наявність водовідвідних споруд під час дощу та танення снігу на покритті утворюється шар води, який перешкоджає безпечному руху автомобілів і сприяє появі аквапланування. Проведені дослідження руху автомобілів по покриттю із шаром води включали вимірювання:

- глибини шару води на покритті;
- швидкостей руху автомобілів різних типів в залежності від глибини шару води на покритті.

##### **4.4.1. Вимірювання глибини шару води на покритті дороги**

Вимірювання глибини шару води проводились на автомобільній дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль на ділянці км 62+700 – 65+000 (контрольна) на покритті із гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону.

Довжина досліджуваної ділянки 20-25 м. Поверхня повністю заповнена водою. Вимірювання проводилось з використанням:

- мірної стрічки та рулетки;
- нівелірів НВ-1, Н-3;
- триметрової нівелірної рейки;
- секундоміру.

Вимірювання включали:

- зйомку площі поверхні покриття з шаром води;
- глибину шару води на поверхні проїзної частини.

Зйомку площі поверхні води на покритті виконували з використанням мірної стрічки та рулетки методом перпендикулярів. Схема вимірювань наведена на рисунку 4.2

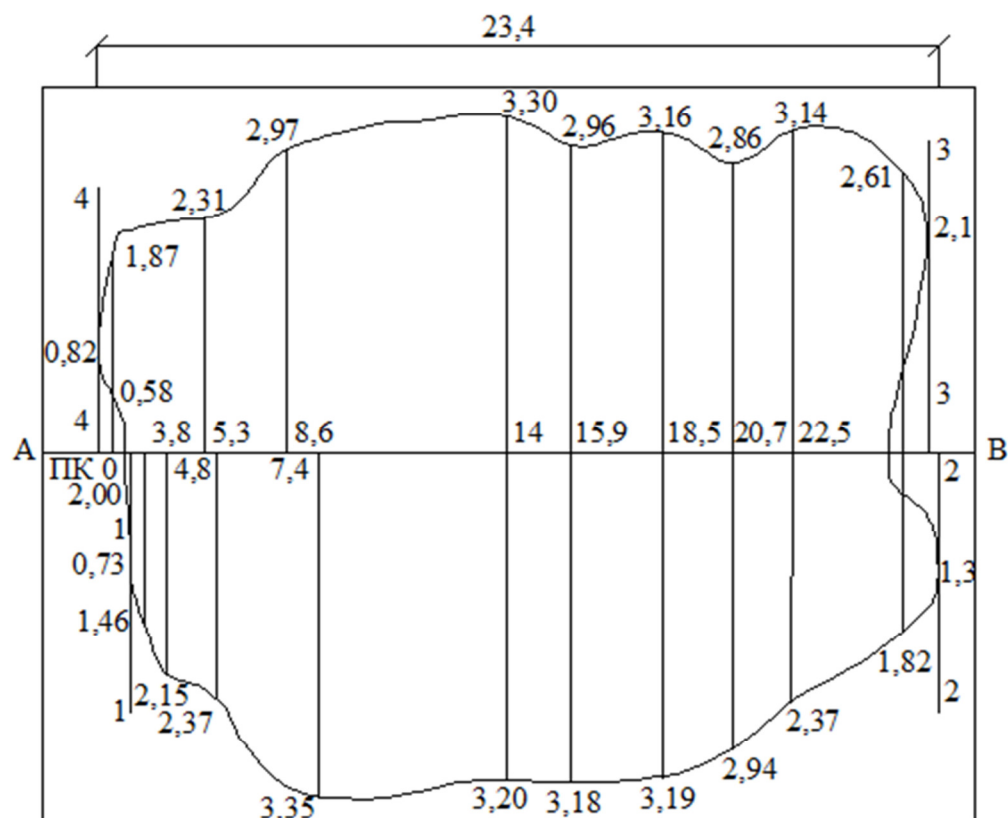


Рис. 4.2. Зйомка площі поверхні покриття з шаром води методом перпендикулярів

Примітка. 1 та 2 – створи для вимірювання швидкостей автомобілів під час їх руху від точки А до точки В; 3 і 4 – створи для вимірювання швидкостей автомобілів під час їх руху від точки В до точки А, 23,4 м – довжина відрізка вимірювань.

Було використано 4 створи.

При проходженні автомобілем створу 1-2 секундомір вмикали, при проходженні створу 3-4 вмикали. Глибину шару води на проїзній частині дороги встановлювали нівелюванням поверхні покриття та зрізу води. Схема вимірювань наведена на рис. 4.3 (а, б). При глибині шару води до 2 см, її

величину вимірювали лінійкою, яку опускали в товщу шару до поверхні покриття.

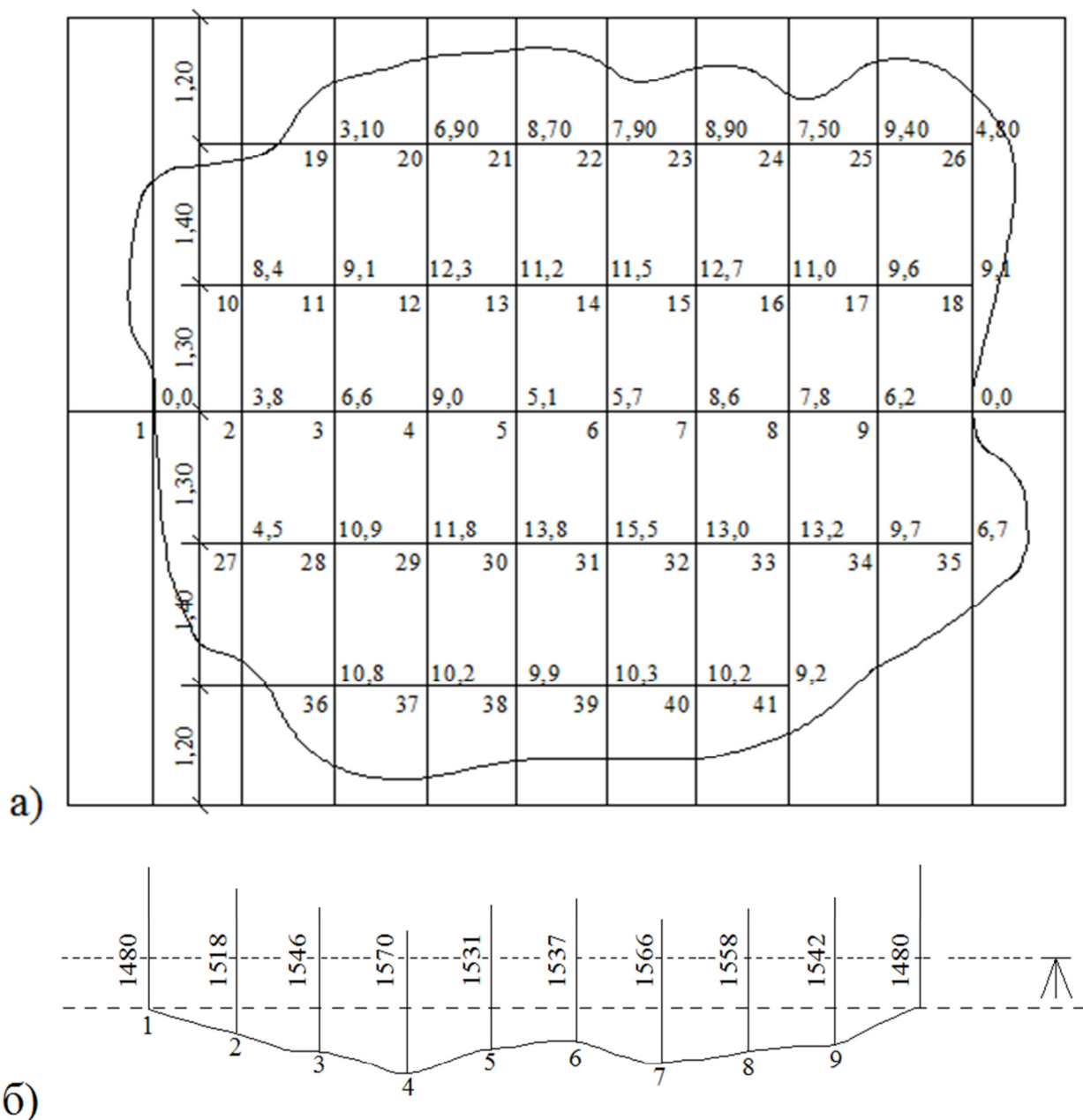


Рис. 4.3. Визначення глибини шару води на покритті

а) – вигляд ділянки у плані; б) – вигляд ділянки у поздовжньому профілі

Примітка. 0,0; 3,8; 6,6;...;15,5 – глибини води, см; 1480; 1518; 1546 – відліки за нівелірною рейкою, мм

Спостерігач, який знаходився біля першої віхи, відмахуванням показував момент включення секундоміра та швидкостеміра, а спостерігач, який стояв біля другої віхи, вмикав секундомір у момент цієї команди і вимикав його, коли



передній бампер автомобіля з'являвся в створі з другою віхою. Спостерігачі знаходились від дороги на відстані не менше 20-25 м від узбіччя, тобто їх присутність не впливала на результати спостережень.

Вимірювання глибин виконували шляхом зняття відліків за нівелірною рейкою, яка встановлювалася приблизно на осі дороги і обох смугах нахату через 2,5 м, а також у найбільш глибоких місцях на зрізі води. Другий відлік на зрізі води був контрольним, який у статистичній обробці не враховувався. Відліки за рейками записували до журналу нівелювання. Точність зняття відліків дорівнює 1 мм. У таблиці 4.3 наведений журнал нівелювання поверхні покриття дороги та зрізів води. Обробку результатів вимірювань виконували по закінченню робіт у камеральних умовах. Глибину шару води визначали за формулою:

$$h = b - a , \quad (4.16)$$

де  $b$  – відлік за рейкою, розташованою на зрізі води (задній відлік);

$a$  – відлік за рейкою, встановленою на поверхні покриття (проміжний відлік).

Таблиця 4.3

**Журнал нівелювання поверхні покриття дороги та зрізів води на ділянці аквапланування дороги Львів-Тернопіль, км 62+700 - км 65+000**

№ станції	№ точок	Відлік за рейкою, мм			Перевищення, мм	Горизонт інструменту	Відмітки точок
		задній	передній	проміжний			
1	1 (зріз)	1480 6165 4685				101,480	100,000
	2			1518	(-0038)		99,962
	3			1546	(-0066)		99,934
	4			1570	(-0090)		99,91
	5			1531	(-0051)		99,949
	6			1537	(-0057)		99,943
	7			1566	(-0086)		99,914
	8			1558	(-0078)		99,922
	9			1542	(-0062)		99,938

Закінчення таблиці 4.3

	10			1564	(-0084)		99,916
	11			1571	(-0091)		99,909
	12			1603	(-0123)		99,877
	13			1592	(-0112)		99,888
	14			1595	(-0115)		99,885
	15			1607	(-0127)		99,873
	16			1590	(-0110)		99,89
	17			1576	(-0096)		99,904
	18			1571	(-0091)		99,909
	19			1511	(-0031)		99,969
	20			1549	(-0069)		99,931
	21			1567	(-0087)		99,913
	22			1559	(-0079)		99,921
	23			1569	(-0089)		99,911
	24			1555	(-0075)		99,925
	25			1574	(-0094)		99,906
	26			1528	(-0048)		99,952
	27			1525	(-0045)		99,955
	28			1589	(-0109)		99,891
	29			1598	(-0118)		99,882
	30			1618	(-0138)		99,862
	31			1635	(-0155)		99,845
	32			1610	(-0130)		99,87
	33			1612	(-0132)		99,868
	34			1577	(-0097)		99,903
	35			1547	(-0067)		99,933
	36			1588	(-0108)		99,892
	37			1582	(-0102)		99,898
	38			1579	(-0099)		99,901
	39			1583	(-0103)		99,897
	40			1582	(-0102)		99,898
	41			1572	(-0092)		99,908
	Контроль зрізу		1480 6166 4686		0000		100,000

Відмітки точок на поверхні покриття дороги під шаром води визначали такими способами за формулами:

– через горизонт нівеліра:

$$\Gamma_i = H_a + b_a, \quad (4.17)$$

$$H_i = \Gamma_i - a_i, \quad (4.18)$$

де

$\Gamma_i$  – горизонт інструмента (нівеліру), за якого виконувалось нівелювання поверхні покриття під шаром води, м;

$H_a$  – умовна відмітка точки на зрізі води, м ( $H_a=100,00$  м);

$b_a$  – чорний відлік за рейкою на зрізі води, м;

$a_i$  – проміжний відлік для  $i$ -ї точки поверхні дороги під шаром води, м;

$H_i$  – умовна відмітка  $i$ -ї точки, м;

– через перевищення між зрізом води та проміжної точки ( $H_i$ ) :

$$H_i = H_a - h_i, \quad (4.19)$$

де

$h_i$  – перевищення між заднім відліком (відліком за рейкою на зрізі води) та проміжним відліком у  $i$ -й точці (на поверхні покриття дороги під шаром води).

Перевищення  $h_i = h$  є глибиною шару води згідно з формулою (4.16).

Кількість відліків за рейкою приймалась відповідно до методів математичної статистики за формулою:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (4.20)$$

де

$t$  – коефіцієнт значущості (за умови довірчої вірогідності, яка дорівнює 95%,  $t=1,96 \approx 2$ );

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення вимірюваного параметра (глибини води на покритті, мм), яке визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{6}, \quad (4.21)$$

де

$\Delta$  – очікувана (бажана) точність визначення середньої глибини води на покритті, мм;

$h_{\max}$  та  $h_{\min}$  – максимальна і мінімальна глибина води.

Для отримання необхідно числа вимірювань швидкостей руху поодиноких автомобілів середнє квадратичне відхилення швидкості руху  $\sigma_v$  визначали за залежністю:

$$\sigma_v = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{6}, \quad (4.22)$$

де

$v_{\max}$  та  $v_{\min}$  – максимальна та мінімальна швидкості руху поодиноких автомобілів на ділянці, що вкрита шаром води, км/год.

При цьому параметр  $\Delta$  є очікуваною точністю визначення середньої швидкості руху автомобілів по шару води (приймали  $\Delta=3$  км/год).

Результати вимірювань глибини шару води на ділянці дороги Львів-Тернопіль, км 62+700 – км 65+000 наведені в таблиці 4.4.

За методом підсумовування отримуємо:

– середню глибину шару води:

$$h_{cp} = u_k - d \left( \frac{M}{n} - 1 \right) = 15 - 2 \left( \frac{167}{41} - 1 \right) = 8,85, \quad (4.23)$$

– дисперсію:

$$\begin{aligned} \sigma_h^2 &= \frac{d^2}{n-1} \left( 2 \sum T - M - \frac{M^2}{n} \right) = \\ &= \frac{4}{40} \left( 2 \cdot 471 - 167 - \frac{167^2}{41} \right) = 9,48 \text{ см}^2, \end{aligned} \quad (4.24)$$

– середнє квадратичне відхилення глибини шару води:

$$\sigma_h = 3,08 \text{ см}.$$

Порівняння гістограми глибини шару води на досліджуваній ділянці дороги із щільністю нормального розподілу наведено на рисунку 4.4.

Таблиця 4.4

**Результати вимірювань глибин шару води на ділянці дороги Львів-  
Тернопіль, км 62+700 - км 65+000**

Розряд інтервалів глибин, см	Середина розряду, см, $u_m$	Абсолютна частота, $h_m$	Часткова сума, $S_m$	Накопичена частота, T	Середина умовного інтервалу, $S_m$	Добуток		
						$L_m h_m$	$L_m^2$	$L h_m$
0-2	1	1	1	1	-4	-4	16	16
2-4	3	2	3	4	-3	-6	9	18
4-6	5	4	7	11	-2	-8	4	16
6-8	7	7	14	25	-1	-7	1	7
8-10	$9=x_a$	12	26	51	0	0	0	0
10-12	11	9	35	86	1	9	1	9
12-14	13	5	40	126	2	10	4	20
14-16	$15=u_k$	1	41	167	3	3	9	9
		n=41	M=167	$\sum T=471$		B=-3		A=95

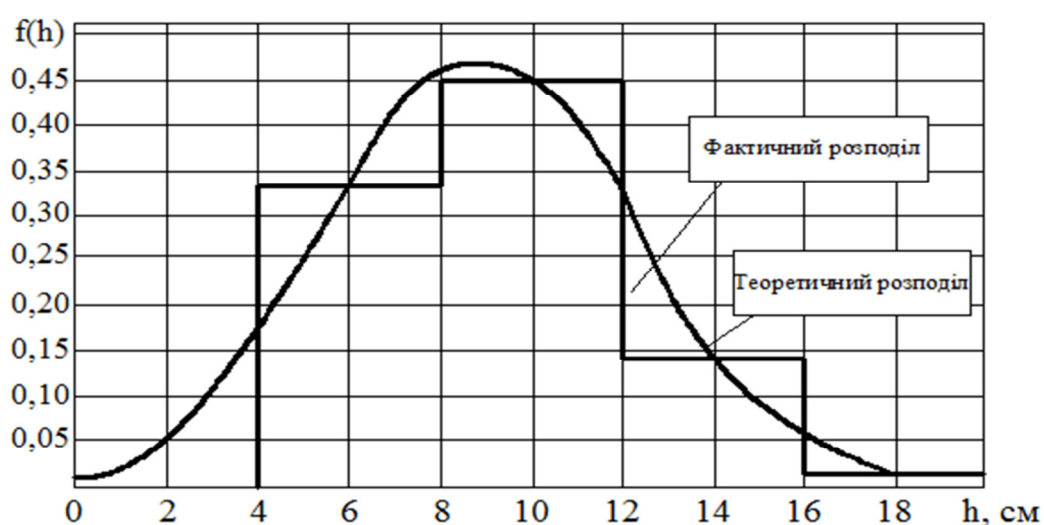


Рис. 4.4. Гістограма глибин шару води на покритті ділянки дороги Львів-  
Тернопіль, км 62+700 - км 65+000.

Порівняння емпіричного розподілу глибин шару води на покритті із законом нормального розподілу наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

**Порівняння емпіричного розподілу глибин шару води на покритті із законом нормального розподілу**

Розряди інтервалів глибин, см	Абсолютна частота $h_m$	Вірогідність попадання вимірювань у розряд, $P_i$	Теоретична кількість вимірювань у розряді ( $n_t = P_i n$ )	$\chi^2 = \frac{(h_m - n_t)^2}{n_t}$
0-4	3	0,0551	2,26	0,242
4-8	11	0,3365	13,80	0,567
8-12	21	0,4525	18,55	0,324
12-16	6	0,1437	5,89	0,002
>16	0	0,0100	0,41	0,41
	n=41	$\sum P_i = 0,9978$	-	$\sum \chi^2 = 1,135$

Розподіл вірогідності  $P_i$  розраховували за формулою Сімпсона:

$$P_i \int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{6m} \left[ (y_0 + y_{2m}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{2m-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{2m-1}) \right], \quad (4.25)$$

при  $m=2$ :

$$P_i = \frac{b-a}{6m} [(y_0 + y_4) + 2y_2 + 4(y_1 + y_3)], \quad (4.26)$$

де

$b$  та  $a$  – права та ліва межі глибин у розрядах інтервалів;

$y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_5$  – ординати точок, які визначаються за формулою при нормальному розподілі:

$$y_i = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{h_i - h_{cp}}{2\sigma^2}\right)^2}. \quad (4.27)$$

Так, наприклад, для третього розряду,  $b=12$  см,  $a=8$  см.

Якщо прийняти  $h_0 = 8$  см,  $h_1 = 9$  см,  $h_2 = 10$  см,  $h_3 = 11$  см,  $h_4 = 12$  см, то отримуємо ординати за формулою (4.27). Отримані ординати використані в формулі (4.27) для визначення шуканої вірогідності. Таким чином, для третього розряду маємо:

$$y_0 = \frac{1}{3,08 \sqrt{2 \cdot 3,14}} e^{-\left(\frac{8-8,854}{2 \cdot 3,03^2}\right)^2} = 0,1293, \quad (4.28)$$

$$y_1=0,12955, y_2=0,12908, y_3=0,12790, y_4=0,12605.$$

$$P_i = \frac{12-8}{12} [(0,1293 + 0,12605) + 2 \cdot 0,12908 + 4(0,12955 + 0,12790)] = 0,5145.$$

Для теоретичного розподілу число ступенів свободи визначалось за формулою:

$$\nu = n - 1 = k - r, \quad (4.29)$$

де

$k$  – кількість розрядів прийнято  $k=5$ ;

$r$  – кількість накладених зв'язків (для нормального закону розподілу  $r=3$ ).

Таким чином:

$$\nu = 5 - 3 = 2.$$

Із таблиць розподілу при  $x^2 = 1,135$  та  $\nu = 2$  встановлено ймовірність  $P_i=0,58$ .

В математичній статистиці прийнято вважати відповідність теоретичного та емпіричного розподілу: відмінним при  $P_i > 0,5$ ; добрим при  $P_i = 0,3-0,5$ ; задовільним при  $P_i = 0,1-0,3$ ; незадовільним при  $P_i < 0,1$ .

Оскільки в нашому випадку  $P_i=0,58$ , то відповідність фактичній кривій розподілу глибин води на покритті нормальному розподілу є відмінною.

#### 4.4.2. Вимірювання швидкостей руху автомобілів різних типів в залежності від глибини шару води на покритті

Відповідно до вимірювань глибини шару води на покритті на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль на ділянці км 62+700 – км 65+000 вимірювались швидкості руху поодиноких автомобілів. Результати вимірювань швидкостей руху автомобілів при середній глибині шару води  $h_{\text{ср}}=8,85$  см,  $\sigma_h=3,08$  см, наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

#### Результати вимірювання швидкостей руху одиночних автомобілів на дорозі Львів-Тернопіль, км 62+700 – 65+000

Розряди інтервалів швидкостей, км/ГОД	Середина розряду, км/ГОД, $u_m$	Абсолютна частота, $h_m$	Часткова сума, $s_m$	Накопичена частота, Т	Середина умовного інтервалу, $L_m$	Добуток		
						$L_m h_m$	$L_m^2$	$L_m^2 h_m$
10-15	12,5	1	1	1	-4	-4	16	16
15-20	17,5	3	4	5	-3	-9	9	27
20-25	22,5	5	9	14	-2	-10	4	20
25-30	27,5	8	17	31	-1	-8	1	8
30-35	32,5= $x_a$	11	28	59	0	0	0	0
35-40	37,5	7	35	94	1	7	1	7
40-45	42,5	2	37	131	2	4	4	8
45-50	47,5	1	38	169	3	3	9	9
50-55	52,5= $u_k$	1	39	208	4	4	16	16
		n=39	M= =208	T=712	-	(-13)	-	A= =111



Використовуючи метод підсумовування, отримуємо:

- середню швидкість вільного руху:

$$V_{cp} = u_k - d \left( \frac{M}{n} - 1 \right) = 52,5 - 5 \left( \frac{208}{39} - 1 \right) = 30,83 \text{ км / год} ; \quad (4.30)$$

- дисперсію:

$$\begin{aligned} \sigma_v^2 &= \frac{d^2}{n-1} \left( 2 \sum T - M - \frac{M^2}{n} \right) = \\ &= \frac{25}{38} \left( 2 \cdot 712 - 208 - \frac{208^2}{39} \right) = 70,18 \text{ км}^2 / \text{год}^2 \end{aligned} \quad (4.31)$$

- середнє квадратичне відхилення швидкості вільного руху:  $\sigma_v = 8,38$  км/год.

Порівняння емпіричного розподілу швидкостей вільного руху легкових автомобілів з теоретичним, згідно з законом нормального розподілу, наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

**Порівняння емпіричного розподілу швидкостей вільного руху легкових автомобілів із теоретичним для глибини шару води  $h_{сер}=8,85$  см і  $\sigma_h=3,08$  см**

Розряди інтервалів швидкостей, км/год	Абсолютна частота, $h_m$	Вірогідність потрапляння вимірювань у розряд, $P_i$	Теоретична кількість вимірювань у розряді ( $n_t = P_i n$ )	$\chi^2 = \frac{(h_m - n_t)^2}{n_t}$
10-20	4	0,0921	3,5919	0,0464
20-30	13	0,3656	14,2584	0,1111
30-40	18	0,398	15,5220	0,3956
40-50	3	0,1269	4,9491	0,7676
>50	1	0,009	0,3510	1,2000
-	n=39	$\sum P_i=0,9916$	-	$\sum \chi^2 = 2,52$

За формулою (4.26) вірогідність розподілу швидкостей руху автомобілів в інтервалі швидкостей 20-30 км/год в залежності від глибини шару води визначається за формулою:

$$P_i = \Phi\left(\frac{h_{i+1} - h_{\text{сер}}}{\sigma_h}\right) - \Phi\left(\frac{h_i - h_{\text{сер}}}{\sigma_h}\right), \quad (4.32)$$

де

$h_i$  – права границя глибини шару води в розрядах;

$h_{i+1}$  – ліва границя глибини шару води в розрядах;

$h_{\text{сер}}$  – середня глибина шару води на ділянці аквапланування;

$\sigma_h$  – середнє квадратичне відхилення глибини шару води.

Вірогідність ( $P_i$ ) в інтервалі швидкостей 20-30 км/год складає:

$$P_i = \frac{b - a}{12} [(y_0 + y_4) + 2y_2 + 4(y_1 + y_3)]. \quad (4.33)$$

Використовуючи таблицю розподілу встановлюється вірогідність  $P_i=0,28$ . Таким чином, відповідність фактичної кривої розподілу швидкостей руху одиночних автомобілів закону нормального розподілу, тобто відповідність теоретичного і емпіричного розподілу є задовільна.

Залежність швидкості руху автомобіля від глибини шару води на покритті наведена в таблиці 4.8.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4.8, видно, що на щільному асфальтобетонному покритті під час дощу утворився шар води. Із збільшенням глибини шару води на покритті поступово знижується швидкість руху автомобілів до критичного значення, з якого починається аквапланування.

На ділянці км 60+500 – км 62+700 автомобільної дороги Львів-Тернопіль, де у верхній шар покриття був укладений пористий асфальтобетон, шару води на проїзній частині не було, тобто явище аквапланування відсутнє, що відмічене в акті обстеження стану дороги.

#### **4.5. Визначення транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу**

Визначення транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу автомобільної дороги Львів-Тернопіль на ділянках км 60+500 – км 62+700 і км 62+700 – км 65+000 проводили візуальним та інструментальним способами з визначенням міцності дорожнього одягу, модуля пружності, рівності покриття і коефіцієнта зчеплення.

#### 4.5.1. Візуальна оцінка стану дорожнього одягу

Візуальна оцінка стану дорожнього одягу – це спосіб отримання попередньої інформації, яка дозволяє визначити ділянки, де необхідно проводити детальну інструментальну оцінку або визначення якості виконаних ремонтних чи будівельних робіт.

Візуальну оцінку конструкцій дорожнього одягу на ділянках км 60+500 – км 62+700 і км 62+700 – км 65+000 автомобільної дороги Львів-Тернопіль проводили в суху, ясну і дощову погоду в 2017 році – вересень – жовтень місяці і в 2018 році – квітень, липень, вересень місяці.

Візуальну оцінку проводили комісійно. Кількість експертів – 3. Узгодженість думок – 98 %. Візуальну оцінку проводили за 5-ти бальною шкалою.

В процесі візуального оцінювання дослідна та контрольна ділянки були поділені на відрізки протяжністю від 50 м до 200 м, межі яких визначають за однотипним станом дорожнього одягу.

На однотипному відрізку середній бал розраховувався за формулою:

$$B_{\text{сеп}} = \frac{B_1 L_1 + B_2 L_2 + \dots + B_i L_i}{L_1 + L_2 + \dots + L_i} \quad (4.34)$$

де

$B_1, B_2, B_3, \dots, B_i$  – бали на відповідному відрізку автомобільної дороги;

$L_1, L_2, L_3, \dots, L_i$  – протяжність відрізків з практично однаковим станом дорожнього одягу, м.

Графік зміни бальної оцінки стану дорожнього одягу при проведенні обстежень наведений на рисунку 4.5.

#### 4.5.2. Інструментальна оцінка стану дорожнього одягу

##### 4.5.2.1. Визначення міцності дорожнього одягу

Таблиця 4.8

**Зміна швидкості руху автомобіля зі збільшенням глибини шару води на покритті**

Глибина шару води $h$ , см	Середнє квадратичне відхилення глибини шару води $\sigma_h$ , см	Швидкість руху одиночних автомобілів $V$ , км/год	Середнє квадратичне відхилення швидкості руху автомобілів $\sigma_v$ , км/год
1. 3,14 (мінімальна)	1,25	54,0	10,3
2. 4,41	1,75	42,0	9,9
3. 4,51	1,82	40,5	9,6
4. 6,12	2,59	39,0	8,9
5. 6,38	2,61	37,0	8,4
6. 7,09	2,86	35,0	8,1
7. 8,85	3,08	33,0	7,7
8. 10,43	3,37	26,0	6,3
9. 12,56 максимальна	3,81	22,0	5,9

Визначення міцності дорожнього одягу згідно з [124] проводилось за допомогою жорсткого штампу квазістатичним навантаженням колеса розрахункового автомобіля МАЗ-503 А, з використанням важільного

прогиноміру КП-204 з точністю вимірювання прогинів  $\pm 0,01$  мм. Обробка результатів досліджень виконувалась згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186 [124].

На кожній ділянці дороги проводилось не менше 5 вимірювань на 1 км (на 5 поперечниках). Випробування проводились в розрахунковий період (квітень 2018 року). Додатково модуль пружності вимірювали восени 2018 року.



Рис. 4.5. Зміна бальної оцінки стану покриття із пористого і щільного асфальтобетонів

Примітка. 1,3 – покриття із пористого асфальтобетону в суху, ясну та дощову погоду;  
2, 4 – покриття із щільного асфальтобетону в суху, ясну та дощову погоду.

Випробування проводили в такому порядку:

- вимірювався тиск в задньому колесі завантаженого автомобіля МАЗ-503 А;
- на стаціонарних вагах моделі ВСА визначалось навантаження на задню вісь автомобіля;
- автомобіль встановлювався в заздалегідь визначені контрольні точки на дослідній і контрольній ділянці траси;

- щуп з підп'ятником розташовується між скатів заднього колеса автомобіля точно під центром задньої осі автомобіля, так як це показано на рисунку 4.6;
- після стабілізації показників деформації на індикаторі, вони записувалися до журналу випробувань;
- автомобіль переміщувався від контрольної точки на 5-7 м і протягом 3-5 хвилин відбувалося відновлення пружної деформації дорожньої конструкції (рис. 4.7);
- після повторної стабілізації показників вони записувалися до журналу випробувань.



Рисунок 4.6. Розміщення підп'ятника прогиноміра КП-204 під спареним колесом вантажівки

За результатами досліджень розраховувався модуль пружності в кожній контрольній точці, а також середнє значення модуля пружності на дослідній та контрольній ділянках. Розрахунок модуля пружності виконувався за формулою:

$$E = \frac{\rho \cdot d \cdot (1 - \mu^2)}{l_{np} \cdot 1000}, \quad (4.35)$$

де

$\rho$  – тиск шини на покриття, МПа;

$d$  – діаметр відбитку колеса на покритті, м;

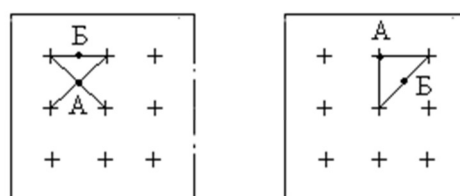
$l_{np}$  – величина пружнього прогину, що визначається як різниця показників індикатора під навантаженням і без навантаження;

$\mu$  – коефіцієнт неоднорідності матеріалу дорожньої конструкції, який дорівнює 0,35.



Рис. 4.7. Зняття показників приладу після відновлення пружніх деформацій.

Розташування контрольних точок на дослідній і контрольній ділянках показані на рисунку 4.8.



дослідна

контрольна

Рисунок 4.8. Розташування контрольних точок на дослідній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700

Тиск шини на покриття визначається за формулою:

$$p = p_{нов} \cdot k_{жс}, \quad (4.36)$$

де

$p_{нов}$  – тиск повітря в шині, МПа;

$k_{жс}$  – коефіцієнт, який враховує жорсткість протектора та приймається рівним 1,3.

Діаметр відбитку колеса на покритті визначається за формулою:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{q}{p}}, \quad (4.37)$$

де

$q$  – навантаження на колесо, кН (приймається рівним половині навантаження на задню вісь).

Для отримання об'єктивної характеристики про стан дорожнього одягу виконувалось відповідне коригування отриманих значень вимірювань. Приведений до розрахункового періоду року і розрахункової температури, фактичний модуль пружності ( $E_{\phi}$ ) визначався згідно з вимогами [125]. Розрахунок виконувався за формулою:

$$E_{\phi} = E_{\phi.л.} \left[ \frac{1}{K_{\theta}} - \frac{1,5 DK_{\Gamma}}{H_{\kappa}} \left[ 1 - \frac{W_{\phi.л.}}{W_p} \right] \right] K_v K_m, \quad (4.38)$$

де

$K_{\theta}$  – температурний коефіцієнт, який дорівнює відношенню прогину при розрахунковій температурі покриття до прогину при температурі, що відповідає періоду проведення випробувань;

$E_{\phi.л.}$  – фактичний модуль пружності;

$D$  – розрахунковий діаметр відбитку колеса;

$K_{\Gamma}$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від виду ґрунту земляного полотна в контрольній точці  $K_1=2,15$  – для суглинків і супісків пилюватих;

$H_{\kappa}$  – товщина дорожнього одягу, см;



$W_{\phi}$ ,  $W_p$  – фактична (виміряна) і розрахункова відносна вологість ґрунту земляного полотна в період проведення випробувань;

$K_v$ ,  $K_m$  – емпіричні коефіцієнти.

Виміряні й розрахункові величини наведені в таблицях 4.9 і 4.10.

Характеристики автомобіля, який використовувався для випробувань на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль, наведені в таблиці 4.9.

Результати вимірювань модуля пружності на дослідній і контрольній ділянках автомобільної дороги Львів-Тернопіль наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.9

**Характеристики автомобіля, який використовувався на дослідній ділянці**

Навантаження на задню вісь, кН	Навантаження на колесо, кН	Тиск повітря в шині, МПа	Тиск шини на покриття, МПа	Діаметр відбитку колеса, м
81,7	40,85	0,6	0,78	0,258599197

Як видно із проведених досліджень, отримані результати підтверджують виконані розрахунки і свідчать про підвищення механічної міцності дослідної конструкції.

Узагальнені дані за результатами польових випробувань з урахуванням стану ґрунтів земляного полотна наведені в таблиці 4.11.

Аналізуючі дані, наведені в таблиці 4.11, видно, що значення модуля пружності на ділянці з покриттям із пористого асфальтобетону знаходяться на одному рівні з ділянкою, де покриття улаштоване із щільного дрібнозернистого асфальтобетону, що свідчить про достатню міцність шарів дорожнього одягу дослідної ділянки. Отримані значення модуля пружності значно перевищують необхідне, яке для доріг III технічної категорії приймається рівним  $E=225$  МПа.

Найнижче значення модуля пружності 262 МПа спостерігалось при вимірюваннях на км 61+000 у вересні 2017 року, але це було після двох місяців роботи покриття і не в розрахунковий період. Навіть це значення перевищує

потрібне на 12 %. Спостереження за міцністю дорожнього одягу з покриттям із пористого асфальтобетону показало подальше збільшення цього показника, що можна пояснити наявністю базальтвоволоконного армуючого прошарку – базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене), модуль пружності якого значно вище ніж асфальтобетону.

Таблиця 4.10

**Результати вимірювань модуля пружності на дослідній і контрольній ділянках автомобільної дороги**

Пружній прогин, мм	Фактичний модуль пружності, МПа	Середнє значення модуля пружності, МПа
1	2	3
Дослідна ділянка км 60+500 – км 62+700		
0,53	330,0528203	317,5924041
0,53	330,0528203	
0,54	323,9407311	
0,51	342,9960682	
0,52	336,39999	
0,53	330,0528203	
0,54	323,9407311	
0,62	282,1419271	
0,56	312,3714193	
0,59	296,4881268	
0,53	330,0528203	
0,61	286,7672046	
0,55	318,0508996	
0,51	342,9960682	
0,58	301,599991	

Закінчення таблиці 4.10

1	2	3
0,61	286,7672046	
0,55	318,0508996	
0,54	323,9407311	
Ділянка км 62+700 - км 65+000		
0,66	265,0424163	269,1745471
0,69	253,518833	
0,7	249,8971354	
0,59	296,4881268	
0,6	291,546658	
0,71	246,3774574	
0,69	253,518833	
0,71	246,3774574	
0,67	261,0865594	
0,65	269,119992	
0,66	265,0424163	
0,58	301,599991	
0,57	306,8912189	
0,69	253,518833	
0,65	269,119992	
0,71	246,3773574	
0,56	312,3714193	
0,68	257,2470512	
0,66	265,0424163	

Це дозволяє йому сприймати і перерозподіляти розтягуючі напруження, попереджуючи отримання покриттям надлишкових горизонтальних напружень, що призводить до зміцнення армованих шарів дорожнього одягу.

Таблиця 4.11

**Визначення модуля пружності дорожнього одягу з покриттям із щільного дрібнозернистого асфальтобетону з урахуванням стану ґрунтів**

N ділянок	Місце випробувань	Дата вимірювань	Вид ґрунту	Прогин дорожнього одягу, L <sub>ф</sub> , мм	Факт. модуль пружності E <sub>ф.л.</sub> , МПа	Вимірювана відносна вологість ґрунту, W <sub>ф</sub> , %	Відносна розрахункова вологість ґрунту, W <sub>р</sub> , %	Приведений модуль пружності E, МПа
Автодорога Львів-Тернопіль, км 62+700 – км 65+000								
1	63+000	09.2017	Глина тверда	0,66	390	0,74	0,75	236
		04.2018		0,24	720	0,68		562
		09.2018		0,39	365			317
2	63+700	09.2017	Суглинок	0,76	286	0,53	0,81	312
		04.2018	важкий	0,18	812	0,66		453
		09.2018	пилуватий	0,53	320			268
3	64+500	09.2017	Суглинок	0,62	395	0,73	0,83	322
		04.2018	важкий	0,21	735	0,61		431
		09.2018	пилуватий	0,55	295			218
4	65+000	09.2017	Суглинок	0,61	434	0,75	0,83	310
		04.2018	важкий	0,18	610	0,62		427
		09.2018	пилуватий	0,38	343			253

На основі виконаних досліджень можна прогнозувати подальше збільшення міцності дорожньої конструкції, що забезпечить її надійну роботу під дією транспортного навантаження.

#### 4.5.2.2. Дослідження зміни рівності асфальтобетонного покриття

Рівність поверхні асфальтобетонного покриття визначалась одразу після закінчення будівництва (липень 2017 р.), навесні (квітень 2018 року) і восени (вересень 2018 року). Вимірювання проводилось шляхом визначення просвітів під 3-х метровою рейкою згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.3-3 і дослідженнями А.О.Белятинського, а також з використанням поштовохміра, встановленого на установку ПКРС-2У.

Вибірковий контроль рівності проводився на ділянках довжиною 300-400 м. Вимірювання рівності проводилось на незадовільних за рівністю ділянках, що визначались візуальним оглядом при приймальному контролі робіт з улаштуванням дослідної ділянки, а також на стадії експлуатації – два рази на рік (восени і навесні).

Бальна оцінка результатів вимірювань виконана згідно ДСТУ В.2-3-4. Результати вимірювань рівності на асфальтобетонному покритті дослідної і контрольної ділянки за період експлуатації наведені на рисунку 4.9.

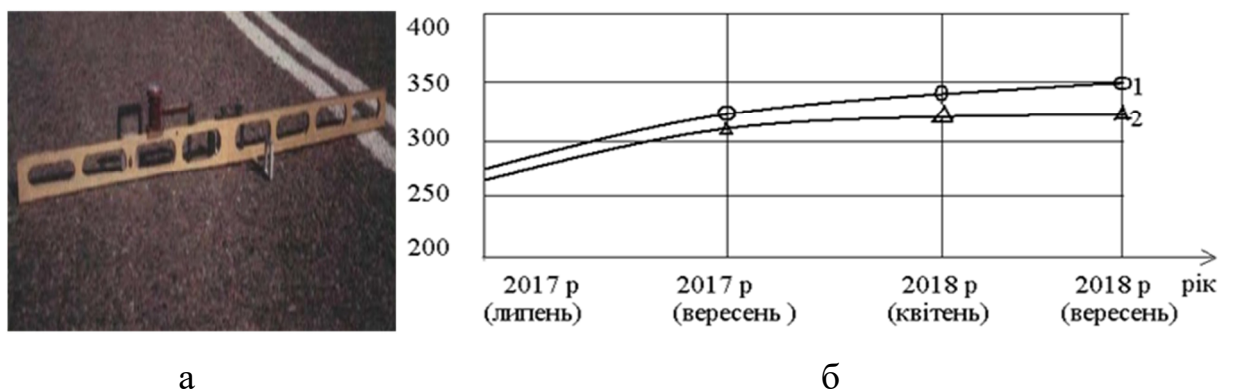


Рисунок 4.9. Вимірювання рівності дорожнього одягу за допомогою трьохметрової рейки: а – трьохметрова рейка; б – зміна рівності покриття за весь період експлуатації

Примітка. 1 – покриття із пористого асфальтобетону; 2 – покриття із щільного дрібнозернистого асфальтобетону

Аналіз результатів вимірювань свідчить, що на ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль з пористим асфальтобетоном, рівність є вищою ніж з покриттям із дрібнозернистого асфальтобетону, що свідчить про оптимальність підбраного складу і дотримання технологічних вимог щодо улаштування шару. Значний позитивний вплив тут має армуючий прошарок із базальтового суцільного полотна марки ПСБП-Д (просочене), який зменшує силу удару при взаємодії колеса автомобіля з покриттям і рівномірно розподіляє напруження від транспорту, що рухається по дорозі.

#### 4.5.2.3. Дослідження процесів зміни коефіцієнту зчеплення

Визначення коефіцієнту зчеплення дорожнього покриття дослідної ділянки км 60+500 - км 62+700 автомобільної дороги Львів-Тернопіль, влаштованого із пористого асфальтобетону і контрольної ділянки км 62+700 - км 65+000 проводилось маятниковим приладом МП-3. Проведення вимірювань показано на рисунку 4.10.

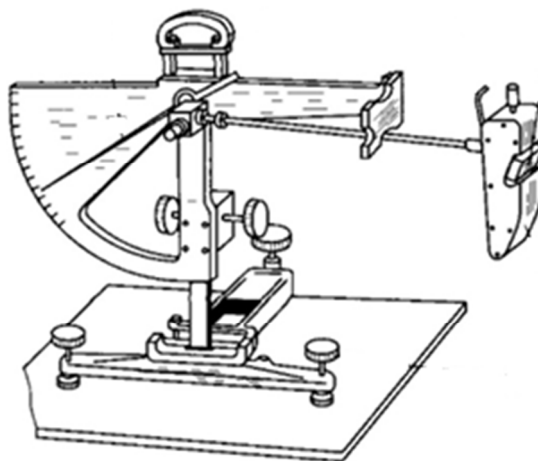


Рис. 4.10. Проведення вимірювання коефіцієнта зчеплення маятниковим приладом МП-3

Коефіцієнт зчеплення визначався в прямому і зворотньому напрямках руху в межах смуг проїзної частини, по лівій смузі накату на відстані 1,0 м від

осі проїзної частини і правій смузі – 2,6 м від осі. Перед вимірюванням коефіцієнта зчеплення дорожнє покриття зволожувалось.

Значення коефіцієнта зчеплення для пористого і щільного асфальтобетонів визначались через три дні після укладання, через 10 днів, а також навесні і восени 2018 року, тобто практично через рік після укладання.

Результати вимірювань коефіцієнта зчеплення наведені в таблиці 4.12.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4.12, видно, що значення коефіцієнта зчеплення на покритті із пористого асфальтобетону значно вищі, ніж на покритті із щільного асфальтобетону, що обумовлено його структурою із збільшеною кількістю щебених фракцій і шорсткою поверхнею.

Деяке зниження значень в процесі експлуатації обумовлено незначною дробильністю зерен і згладжуванням шорсткої поверхні. Але все одно значення коефіцієнта зчеплення значно вище вимог ДСТУ 3587, де визначене мінімально допустиме значення на небезпечних ділянках – 0,3.

Значення коефіцієнта зчеплення на контрольній ділянці нижчі, ніж на дослідній, але вищі, ніж регламентовані.

#### **4.6. Експериментальні дослідження пористого щебеневого асфальтового бетону**

Експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей пористого асфальтобетону проводились в липні 2018 року після 1 року експлуатації покриття, шляхом відбору кернів і проведення лабораторних досліджень. Всього було відібрано 6 кернів (рис.4.11). Паралельно керни відбирались з контрольної ділянки покриття для можливості порівняння результатів досліджень.

Зовнішній огляд кернів дослідної ділянки показав, що структура верхнього і нижнього шарів не порушена. Полотно ПСБ-Д (просочене) знаходиться в задовільному стані, рівномірно розподілене і щільно прилягає до нижнього шару асфальтобетонного покриття.

Таблиця 4.12

**Результати вимірювань коефіцієнта зчеплення на автодорозі Львів-Тернопіль, км 60+500 - км 62+700 (дослідна ділянка)**

Місце вимірювання, км+	Отримані дані							
	Через 3 дні		Через 10 днів		Квітень 2018 р.		Вересень 2018 р.	
	Фактич- не зна- чення	Середнє значе- ння	Фактич- не значення	Середнє значення	Фактич- не зна- чення	Середнє значення	Фактичне значення	Середнє значення
<b>Права смуга</b>								
60+500	0,48	0,5	0,46	0,49	0,45	0,48	0,45	0,45
60+550	0,46		0,46		0,46		0,44	
60+600	0,49		0,48		0,48		0,46	
60+650	0,50		0,48		0,47		0,44	
60+700	0,53		0,48		0,47		0,44	
60+750	0,54		0,53		0,47		0,47	
60+800	0,48		0,52		0,50		0,46	
60+850	0,50		0,50		0,51		0,45	
60+900	0,49		0,49		0,49		0,46	
60+950	0,49		0,49		0,49		0,47	
61+000	0,51		0,51		0,48		0,48	
61+050	0,53		0,52		0,49		0,45	
<b>Ліва смуга</b>								
61+150	0,46		0,46		0,47		0,47	
61+200	0,48		0,47		0,51		0,46	
61+250	0,49		0,49		0,48		0,48	
61+300	0,49		0,48		0,47		0,46	
61+350	0,50		0,51		0,47		0,44	
61+400	0,51		0,50		0,48		0,43	



## Закінчення таблиці 4.12

61+450	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45
61+500	0,47		0,49		0,44			
61+550	0,48		0,47		0,45			
61+600	0,50		0,48		0,46			
61+650	0,51		0,51		0,46			
61+700	0,49		0,49		0,47			
61+750	0,47		0,47		0,48			
61+800	0,48		0,46		0,49			
61+850	0,50		0,50		0,49			
61+900	0,52		0,51		0,46			
Права смуга								
61+950	0,49	0,58	0,48	0,48	0,46	0,47	0,46	0,45
62+000	0,50		0,51		0,49			
62+050	0,51		0,50		0,48			
62+100	0,49		0,48		0,45			
62+150	0,47		0,49		0,46			
62+200	0,48		0,47		0,50			
62+250	0,50		0,48		0,46			
62+300	0,51		0,48		0,47			
62+350	0,49		0,51		0,48			
62+400	0,50		0,50		0,47			
62+450	0,51		0,46		0,46			
62+500	0,47		0,48		0,45			
62+550	0,48		0,47		0,49			
62+600	0,50		0,46		0,50			
62+650	0,49		0,47		0,48			

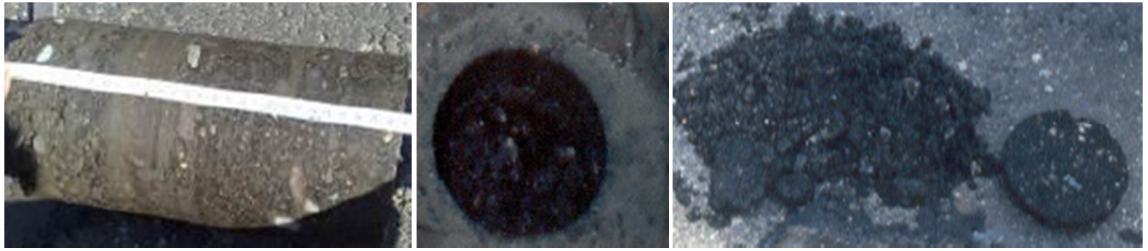


Рис. 4.11. Загальний вигляд кернів на дослідній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700)

Фізико-механічні властивості зразків переформованих кернів дослідної ділянки із пористого асфальтобетону і контрольної із традиційного щільного асфальтобетону наведені в таблиці 4.13.

Аналізуючі дані таблиці 4.13, видно, що покриття із пористого асфальтобетону у верхньому шарі має високі значення міцності і низьке водонасичення, що свідчить про його працездатність і довговічність. До нижнього шару асфальтобетонного покриття вода не просочувалась, що підтверджується результатами досліджень фізико-механічних властивостей, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

#### **4.7. Економічна ефективність проектування конструкції дорожнього одягу для попередження виникнення аквапланування автомобілів**

При улаштуванні конструкції дорожнього одягу з покриттям із пористого асфальтобетону з укладанням під верхній шар покриття базальтового армуючого прошарку – суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) попереджується явище аквапанування автомобілів під час дощу або танення снігу, забезпечується розрахункова швидкість руху транспортних засобів, підвищується безпека руху, тобто зменшується кількість ДТП і тяжкість їх наслідків, економічність та комфортність перевезень.

Визначення економічної ефективності попередження виникнення аквапанування автомобілів і тим самим підвищення безпеки руху транспорту укладанням розробленої дорожньої конструкції проводилось згідно з [130-133].

Таблиця 4.13

**Фізико-механічні показники зразків переформованих кернів,  
відібраних з покриття автодороги Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 65+000**

N з/п	Найменування показників	Позначення НД	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011	Дослідна ділянка				Контрольна ділянка			
				Фактичні показники			Серед-не арифме-тичне	Фактичні показники			Серед-не арифме-тичне
1	Границя міцності на стиск, МПа, за температури 20 °С	ДСТУ Б В.2.7-319:2016, п.16.3	Не менше 2,6	3,5	3,4	3,6	3,5	3,4	3,5	3,4	3,4
2	Границя міцності на стиск, МПа, за температури 50 °С	ДСТУ Б В.2.7-319:2016, п.16.3	Не менше 1,3	1,5	1,4	1,4	1,43	1,4	1,4	1,3	1,36
3	Границя міцності на стиск, МПа, за температури 0 °С	ДСТУ Б В.2.7-319:2016, п.16.3	Не більше 12,0	8,7	8,7	8,8	8,7	8,9	9,0	8,5	8,8
4	Водонасичення, %	ДСТУ Б В.2.7-319:2016, п.14.2	Не більше 4,0	1,3	1,5	1,5	1,4	1,7	1,8	1,8	1,8

Згідно з [133] під ефективністю заходів з підвищення безпеки дорожнього руху треба розуміти кількісну зміну показників аварійності – кількості ДТП та тяжкості їх наслідків. Взагалі, економічна ефективність витрат на той чи інший захід – це відношення заощаджень, отриманих протягом року в результаті підвищення безпеки руху, до витрат, спрямованих на це.

В цілому, техніко-економічна ефективність заходів спрямована на попередження виникнення аквапланування автомобілів і тим самим підвищення безпеки дорожнього руху та включає три етапи:

- визначення витрат, пов'язаних з виникненням заходів;
- визначення їх ефективності;
- розрахунок економічної ефективності витрат.

Науково-методичною основою визначення економічної ефективності витрат на ліквідацію ризику виникнення аквапланування і підвищення безпеки руху є типова методика визначення ефективності капіталовкладень [130].

Визначено [130,133], що кількість ДТП, їхня тяжкість та зміна цих показників у результаті виконання заходів з підвищення безпеки дорожнього руху піддаються оцінці, а збитки від ДТП в залежності від їх тяжкості можуть бути виражені в грошовому еквіваленті.

Оцінка ефективності заходів з ліквідації ризику виникнення аквапланування і підвищення безпеки руху та визначення річного економічного ефекту і терміну окупності витрат на ці заходи проводилась для ділянки км 60+500 – км 62+700 автомобільної дороги Львів-Тернопіль.

За даними офіційних статистичних даних, отриманих у Окремому підрозділі Управління патрульної поліції (ОП УПП) м.Львова, на ділянках км 60+500 – км 62+700 та км 62+700 – км 65+000 автомобільної дороги Львів-Тернопіль, кількість ДТП в 2016 р. і 2018 р. наведена в таблиці 4.14.

Дані ОП УПП м.Львова використані за період з січня місяця 2016 р. по червень місяць 2017 р., з серпня 2017 р. по вересень 2018 р.

Визначаємо відносний показник зміни кількості ДТП за формулою:

$$P_x = \frac{X_n \cdot X_{\delta\sigma}}{X_\delta \cdot X_{\sigma n}}, \quad (4.39)$$

де

$X_n$  – кількість ДТП після виконання заходів з підвищення безпеки руху на досліджуваній ділянці дороги;

$X_{\delta\sigma}$  – кількість ДТП на базовій ділянці до укладання покриття із традиційного асфальтобетону;

$X_{\delta}$  – кількість ДТП до виконання заходів з підвищення безпеки руху на досліджуваній ділянці;

$X_{\sigma n}$  – теж саме на базовій ділянці після укладання покриття із традиційного асфальтобетону.

$$P_x = \frac{96 \cdot 135}{144 \cdot 148} = 0,61.$$

Таблиця 4.14

**Кількість ДТП на досліджуваній та контрольній ділянках**

Кількість ДТП на досліджуваній ділянці		Кількість ДТП на контрольній ділянці	
До укладання пористого асфальтобетонного покриття	Після укладання пористого асфальтобетонного покриття	До укладання покриття із щільного асфальтобетону	Після укладання покриття із щільного асфальтобетону
До ( $X_{\delta}$ )	Після ( $X_n$ )	До ( $X_{\delta\sigma}$ )	Після ( $X_{\sigma n}$ )
144	96	135	148

Виражена у відсотках ефективність зниження ДТП становить за формулою:

$$E_x = (1 - P_x) \cdot 100, \quad (4.40)$$

$$E_x = (1 - 0,61) \cdot 100 = 39,0\%.$$

Припускаючи, що виконані заходи не вплинули на безпеку руху, вираховуються умовні значення кількості ДТП на досліджуваній і контрольній ділянках.

$$X'\delta = \frac{(X_\delta + X_{\delta\sigma}) \cdot (X_\delta + X_n)}{X_\delta + X_n + X_{\delta\sigma} + X_{\sigma n}} = \frac{(144 + 135) \cdot (144 + 96)}{144 + 96 + 135 + 148} = 128,03. \quad (4.41)$$

$$X'n = \frac{(X_n + X_{\sigma n}) \cdot (X_\delta + X_n)}{X_\delta + X_n + X_{\delta\sigma} + X_{\sigma n}} = \frac{(96 + 148) \cdot (144 + 96)}{144 + 96 + 135 + 148} = 111,97. \quad (4.42)$$

$$X'\delta\sigma = \frac{(X_\delta + X_{\delta\sigma}) \cdot (X_{\sigma\delta} + X_{\sigma n})}{X_\delta + X_n + X_{\delta\sigma} + X_{\sigma n}} = \frac{(144 + 135) \cdot (135 + 148)}{144 + 96 + 135 + 148} = 150,97. \quad (4.43)$$

$$X'\sigma n = \frac{(X_n + X_{\sigma n}) \cdot (X_{\sigma\delta} + X_{\sigma n})}{X_\delta + X_n + X_{\delta\sigma} + X_{\sigma n}} = \frac{(144 + 148) \cdot (135 + 148)}{144 + 96 + 135 + 148} = 158,00. \quad (4.44)$$

Далі для оцінки статичної ймовірності цього припущення використовується критерій Пірсона, який розраховується за формулою:

$$X^2 = \frac{(X_\delta - X'_\delta)^2}{X'_\delta} + \frac{(X_n - X'_n)^2}{X'_n} + \frac{(X_{\delta\sigma} - X'_{\delta\sigma})^2}{X'_{\delta\sigma}} + \frac{(X_{\sigma n} - X'_{\sigma n})^2}{X'_{\sigma n}}. \quad (4.45)$$

$$\begin{aligned} X^2 &= \frac{(144 - 128,03)^2}{128,03} + \frac{(96 - 111,97)^2}{111,97} + \\ &+ \frac{(135 - 150,97)^2}{150,97} + \frac{(148 - 158,00)^2}{158,00} = \\ &= 1,99 + 2,28 + 1,69 + 0,63 = 6,59 \end{aligned}$$

Ймовірності статистичної вірогідності виникнення ДТП наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15

**Ймовірності статистичної вірогідності виникнення ДТП за критерієм  
Пірсона від 1 до 10**

$x^2$	$P(x^2)$	$1 - P(x^2)$
1	0,6065	0,3935
2	0,3679	0,6321
3	0,2231	0,7769
4	0,1353	0,8647
5	0,0821	0,9179
6	0,0498	0,9502
7	0,0302	0,9698
8	0,0183	0,9817

## Закінчення таблиці 4.15

9	0,0111	0,9889
10	0,0067	0,9943

За таблицею 4.15 знаходимо, що для  $x^2=6,59$ ,  $P(x^2)=0,04$ .

Таким чином, вірогідність зміни кількості ДТП в результаті виконання заходів з безпеки дорожнього руху оцінюється ймовірністю  $1-0,04=0,96$ .

Якщо б на досліджуваній ділянці не було виконано заходів з ліквідації ризику виникнення аквапланування автомобілів, то:

$$X_{ор} = \frac{X_{\delta} \cdot X_{\delta n}}{X_{\delta\sigma}} = \frac{144 \cdot 148}{135} = 158 . \quad (4.46)$$

Тоді розрахункове значення зміни кількості ДТП дорівнює:

$$X_p = X_{ор} - X_n = 158 - 96 = 62 . \quad (4.47)$$

Загальна економічна ефективність витрат на заходи з ліквідації ризику виникнення аквапланування автомобілів і підвищення безпеки руху транспортних засобів оцінюється коефіцієнтом економічної ефективності:

$$E = \frac{E_{\phi}}{B} , \quad (4.48)$$

де

$E_{\phi}$  – сумарний річний ефект від зменшення аварійності, грн;

$B$  – витрати на улаштування шару із пористого асфальтобетону з укладанням базальтового прошарку ПСБ-Д (просочене).

За даними кошторису ТОВ «Євробан-захід» витрати на улаштування покриття дослідної ділянки становлять 370840 грн без вартості матеріалів.

Економічний ефект від зниження аварійності ( $E_{\phi}$ ) на 1 км досліджуваної ділянки дороги у  $i$ -му році визначається за формулою:

$$E_{\phi i} = \frac{X_p \cdot C}{L(1 + E_n)} , \quad (4.49)$$

де

$X_p$  – зміна наслідків аварійності на досліджуваній ділянці дороги;

$C$  – збитки від аварійності, грн.;

$L$  – довжина досліджуваної ділянки дороги, км;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт для приведення різночасових витрат до вихідного року ( $E_n=0,08$ ). Тоді економічний ефект складає:

$$E_{\phi i} = \frac{62 \cdot 8970}{2,2(1 + 0,08)} = \frac{556140}{2376} = 234066 \text{ грн.}$$

У загальному вигляді річний економічний ефект від підвищення безпеки руху ( $E_{\phi a}$ ) на досліджуваній ділянці дороги довжиною  $L$  визначається за формулою:

$$E_{\phi a} = L \cdot E_{\phi i} = 2,2 \cdot 234066 = 514945,2 \text{ грн.} \quad (4.50)$$

Враховуючи статистичну вирогідність кількості ДТП, виявлених в результаті ДО і ПІСЛЯ улаштування покриття із пористого асфальтобетону, річний економічний ефект на досліджуваній ділянці слід визначати за формулою:

$$T = \frac{B}{E_{\phi a}}. \quad (4.51)$$

$$T = \frac{370840}{224703,4} = 1,65 \approx 2 \text{ роки.}$$

Нормативний термін окупності капітальних вкладень згідно ВСН 32-66 становить 8 років. Загальний вигляд дослідної та контрольної ділянок автомобільної дороги III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль наведений на рис.4.12.



а



б

Рис. 4.12. Загальний вигляд дослідної та контрольної ділянки на автомобільній дорозі III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль: а – дослідна ділянка; б – контрольна ділянка



Термін окупності витрат, пов'язаних з улаштуванням покриття, що попереджує ризик виникнення аквапланування автомобілів і зменшує кількість ДТП навіть без урахування економічного ефекту від покращення швидкості та комфортності руху, в даному випадку становить 2 роки.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Дослідження руху автомобіля по покриттю із шаром води показали, що фактична крива розподілу швидкості руху автомобіля підпорядковується закону нормального розподілу. Відповідність теоретичного і емпіричного розподілу є задовільною.

2. Виконані візуальний та інструментальний огляди покриття і дорожнього одягу на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700 з вимірюванням модуля пружності, рівності та коефіцієнта зчеплення показали, що стан покриття дослідної ділянки задовільний, деформації і руйнування відсутні, під час дощу і танення снігу шару води на поверхні немає, тобто поява аквапланування відсутня. Значення модуля пружності знаходяться вище допустимого, рівність забезпечена, значення коефіцієнта зчеплення вищі, ніж регламентовані.

3. Виконані дослідження щодо визначення впливу базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) показали, що армована дорожня конструкція збільшує свою міцність у 2,5 рази. Запропонована дорожня конструкція на ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) відповідає усім критеріям міцності.

4. На ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) визначена економічна ефективність проектування конструкцій дорожнього одягу для попередження виникнення аквапланування автомобілів. Річний економічний ефект від підвищення безпеки руху на досліджуваній ділянці автомобільної дороги орієнтовно склав 500 000 грн.

## ВИСНОВКИ

В дисертації здійснені теоретичні узагальнення та викладені практичні результати вирішення науково-прикладної задачі підвищення транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Проведений аналіз існуючих методів оцінки безпеки руху автомобілів по дорозі показав, що для попередження зниження зчеплення шини колеса з покриттям і запобігання появи аквапланування, при дії негативних погоднокліматичних умов, необхідно враховувати цілий ряд факторів, а саме: швидкість руху; глибину шару води; середню висоту виступів шорсткості; тиск повітря в шині; щільність води; ступінь збільшення глибини води перед колесом; ширину протектора колеса; силу гідродинамічного тиску; кут спливання колеса; радіус обтисненого колеса; інтенсивність дощу; довжину ділянки стоку води; коефіцієнт шорсткості дорожнього покриття.

При дослідженні та прогнозуванні причин існування ділянок з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, встановлено, що основними транспортно-експлуатаційними показниками мають бути: рівність, коефіцієнт зчеплення та шорсткість.

2. Автором удосконалена математична модель попередження виникнення явища аквапланування в залежності від критичної глибини шару води, яка обумовлює критичну швидкість руху автомобілів. Встановлена залежність спливання передніх коліс від швидкості руху автомобіля та глибини шару рідини на покритті. За умови глибини шару рідини 3,5 мм та швидкості руху 70 км, ймовірність спливання коліс дорівнює  $1 \cdot 10^{-3}$ , а при швидкості 90 км/год ймовірність спливання збільшується на два порядки.

Удосконалена математична модель оцінки впливу нерівностей покриття на швидкість аквапланування автомобіля з визначенням залежності довжини і часу спливання колеса від стану покриття. Для врахування впливу нерівностей покриття, що виникли в процесі експлуатації, в математичній моделі повинні

бути визначені такі величини: швидкість руху, за якої можливе виникнення явища аквапланування; кут спливання колеса автомобіля; критична товщина шару рідини, за якої вірогідність виникнення аквапланування відповідає 50 % ризику; коефіцієнт варіації критичної глибини шару стоку.

Результати проведених досліджень дозволили прийняти оптимальний з точки зору попередження явища аквапланування склад пористого щибеневого асфальтобетону (у % за масою): щебінь гранітний фр. 20 – 40 мм – 15 %; щебінь гранітний фр. 5 – 20 мм – 50 %; відсів дроблення – 30,5 %; бітум нафтовий БНД 60/90 – 4,5 %.

3. Експериментальне дослідження фізико-механічних, деформаційних властивостей, а також довговічності пористого асфальтобетону показали, що це є достатньо міцний матеріал, який виконує функції відведення надлишкової води із дорожньої конструкції. Проведені лабораторні дослідження підтвердили теоретичні положення про раціональність укладання пористого асфальтобетону для ліквідації появи аквапланування автомобілів під час дії негативних погодних умов на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування. Пористий асфальтобетон в процесі експлуатації підвищує свої показники міцності, що пояснюється процесами полімеризації та окислення, що відбуваються в бітумі. Зразки пористого щибеневого асфальтобетону виявляють при низьких температурах розтяжність, що є не меншою, ніж у щільного дрібнозернистого асфальтобетону. Наприклад, при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$  границя міцності на розтяг при згині у пористого щибеневого асфальтобетону становить 7,9 МПа, в той час як у щільного дрібнозернистого асфальтобетону цей показник становить 6,7 МПа. Показники зсувостійкості пористого асфальтобетону знаходяться на рівні з показниками для щільного дрібнозернистого асфальтобетону.

4. Виконані дослідження щодо визначення впливу базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) показали, що армована дорожня конструкція збільшує свою міцність і надійність у 2,5 рази. Запропонована

дорожня конструкція на ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) відповідає усім критеріям міцності.

5. Для того, щоб попередити явище аквапланування, запропоновано і впроваджено під час будівництва ділянки автомобільної дороги III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700 конструкцію дорожнього одягу, що складається з таких шарів: асфальтобетон пористий, щєбєневий АСГ. Др. ПА – Б.НП.І. БНД 60/90; базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене); асфальтобетон крупнозернистий; щєбєнево-пїщана сумїш ЩПС 40 (оброблена цементом); щєбєнево-пїщана сумїш С-5; пїсок крупнозернистий. Улаштування раціональної конструкції нежорсткого дорожнього одягу з використанням сучасних матеріалів – пористого асфальтобетону і базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) дозволить забезпечити своєчасне відведення води з поверхні проїзної частини і попередити появу аквапланування на складних ділянках автомобільних доріг. На двох ділянках автомобільної дороги Львів-Тернопіль (дослідній – км 60+500 – км 62+700 та контрольній – км 62+700 – км 65+000) виконані дослідження транспортно-експлуатаційних показників (міцності, рівності та зчеплення). Результати досліджень показали, що покриття із пористого асфальтобетону у верхньому шарі має достатньо високі значення коефіцієнта міцності та низьке водонасичення, що свідчить про його довговічність. Значення коефіцієнтів зчеплення на дослідній ділянці автомобільної дороги знаходяться в межах, визначених нормативними документами. Під час дощу і танення снігу на поверхні покриття дослідної ділянки автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) із пористого асфальтобетону не було виявлено шару води.

Розроблена та впроваджена під час будівництва ділянки автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) технологія улаштування шарів асфальтобетонного покриття з використанням у верхньому шарі пористого асфальтобетону та укладання базальтового суцільного прошарку марки ПСБ – Д (просочене).

На ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль (км 60+500 – км 62+700) визначена економічна ефективність проектування конструкцій дорожнього одягу для попередження виникнення аквапланування автомобілів. Річний економічний ефект від підвищення безпеки руху на досліджуваній ділянці автомобільної дороги орієнтовно склав 500000 грн. Термін окупності витрат, пов'язаних з улаштуванням покриття, що попереджує ризик виникнення аквапланування автомобілів і зменшує кількість ДТП навіть без урахування економічного ефекту від покращення швидкості та комфортності руху, в даному випадку становить 2 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юхновський І.Р. Транспортний комплекс України. Автомобільні дороги: проблеми та перспективи [Текст] / І. Р. Юхновський [и др.] ; ред. І. Р. Юхновський ; Міжвідомча аналітично-консультативна рада з питань розвитку продуктивних сил і виробничих відносин. - К. : ФАДА, ЛТД, 2004. - 177 с.
2. Dames D. Griffigkeitsmessungen auf Deckenoberflächen bef hohen Geschwindigkeiten / D.Dames, G. Langer // Strasse und Autobahn/ – 1989. – N8. – P. 272-279.
3. Гончаренко Ф.П. Експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг за складних екологічних умов / Ф.П.Гончаренко, Є.Д. Прусенко, В.Ф. Скорченко// Міністерство освіти і науки України. – К. – 1999. – С.263.
4. Martiner J.E. A study of variables associated with wheel speak-down and hydroplaning / J.E.Martiner, S.M. Lewis, A.I. Stocker //Highway Research Record. – 1972. – N396 – P.33-44.
5. Беятинський А.О. Застосування методів фотограметрії для вивчення дорожніх умов з метою покращення безпеки руху / А.О. Беятинський, О.І.Никитенко //Безопасность дорожного движения Украины. –1999. – №4 (5). – С. 101-105.
6. Краюшкина К.В. Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог: Докторская диссертация / Вильнюс: Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, инженерия транспорта. – 2013 год. – 220 с.
7. Васильев О. П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях / О. П. Васильев. – Москва: Транспорт, 1976. – 221 с.
8. Беятинський А.О. Забезпечення безпечної експлуатації мостових переходів / А.О. Беятинський // Безпека дорожнього руху України. – 2001. – №3(11). – С.55-58.

9. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – М: Транспорт, 1974. – 280 с.
10. Немчинов М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М. В. Немчинов. – М: Транспорт, 1985. – 229 с.
11. Хом'як Я. В. Автомобильные дороги и окружающая среда / Я. В. Хом'як, В. Ф. Скорченко. – К: Вища школа, 1983. – 160 с.
12. Knoll N. Die Trassierung von Bundesautobahnstrecken in Zusammenhang mit dem Aguaplaunung / Nazet Knoll. // N5-P. – 1969. – P. 162–168.
13. Sudwing F.S. A Premilinary Study of modeling the air Pollution effect from Traffic Engeneering Alternatives / F.S. Sudwing // – “I. of the air Pollution Control Assotiation” –V.23, N6. –1973.– P 499-504.
14. Астров В.А. Коэффициент сцепления и степень шероховатости дорожного покрытия / В.А. Астров // Автомобильные дороги. –1970. – №10. – С.22-24.
15. Паршин М.А. Опасность – коэффициент сцепления меньше 0,4 / М.А. Паршин // Автомобильные дороги. –1968 – №3. – С.38-41.
16. Grosch K. The speed and temperature dependence of rubber friction and its dearing on the skid resistance of tires / K. Grosch // Highway Research Record. – 1976. – N11. – P.143-162.
17. Князьков В.Н. Исследование работы пневматической шины под действием нормативной нагрузки / В.Н. Князьков // Автомобильная промышленность. – 1975. – №10. – С.24-27.
18. Бабков В. Ф. Реконструкция автомобильных дорог / В. Ф. Бабков, В. И. Могилевич, В. К. Некрасов. – М: Транспорт, 1978. – 263 с.
19. Білятинський О.А. Проектування автомобільних доріг. Підручник У 2 ч. Ч.2 / О.А. Білятинський, В.П. Старовойда, Я.В. Хом'як. За ред.. О.А. Білятинського, Я.В. Хом'яка – К.: Вища школа, 1998 – 416 с.

20. Белятинський А.О. Аерогідрометричний спосіб визначення витрат води / А.О. Белятинський // Вестник НТУУ «КПІ» Машиностроение. – К., 2002. – №42. Т.1 – С. 128-130.
21. Краюшкіна К.В. Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів / К.В. Краюшкіна, Т.Ю. Химерик, В.П. Рева // Зб. наук. Праць «Дороги і мости». – К., 2003. – С. 189-194.
22. Васильев А.П. Теоретические проблемы и практические задачи обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах / А.П. Васильев // Сб. науч. трудов. – М.: ГипродорНДТ, 1973. – вып. 5. – С.13-16.
23. Немчинов М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М. В. Немчинов. – М: Транспорт, 1985. – 231 с.
24. Борисюк Н.В. Влияние вязкости растворов реагентов на величину коэффициента сцепления шины с дорожным покрытием / Н.В. Борисюк // Сб. научных трудов «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: проблемы и перспективы развития». – М. 2004 г. – С.108-118.
25. Сухоруков Ю.М. Оценка фрикционных свойств каменных материалов. / Ю.М. Сухоруков // Сб. научн. трудов «Эксплуатация автомобильных дорог». – Омск, 1989. – С. 127-132.
26. Юмашев В.М. Повышенная долговечность шероховатых покрытий путем подбора каменных материалов / В.М. Юмашев // Сб. научн. трудов «Повышение транспортно-эксплуатационных качеств новых дорожных и аэродромных покрытий». – М., 1982 г. – С. 39-45.
27. Darguris A. Dinamic processes of a vehicle moving over step-shaped obstacles / A. Darguris, J.Sarpagonas, K. Pilkauskas // Journal of Vibroengineering . – 2011, p. – 13 (3). – 536-543.
28. Zarijs A. System analysis of information xeseption and processing for driving task / A. Zarijs // The Baltic journal of Road and bridge Engineering. – 2011. – 6 (1). – P.12-16.



29. Хом'як Я. В. Проектування дорожніх покриттів / Я. В. Хом'як. – К: Вища школа, 1980. – 107 с.
30. Белятинський А.О. Забезпечення безпеки руху на заплavnих насипах мостових переходів / А.О. Белятинський // Безпека дорожнього руху України, 1999– №4 (5) – С. 22-25.
31. Andrade C. Institute of Construction Science “Eduardo Torroja”, CSIC, Spain, “Natural Weathering Influence on the Rebar Corrosion Rate” / C. Andrade, C. Alonso, J. Sarria. // Proceeding: International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures. – December 7-11, 1998. – Orlando, Florida.
32. Кузнецов Ю. В. Сцепление автомобильной шины с дорожным покрытием / Ю. В. Кузнецов. – М: МАДИ, 1985. – 107 с.
33. Белятинський А.О. Математичне моделювання процесів стоку / А.О. Белятинський // Автошляховик України. – К., 2002. – №5. – С.101-103.
34. Белятинський А.О. Технологічні схеми обстеження існуючих автомобільних доріг методами наземної стереофотограмметричної зйомки / А.О. Белятинський, А.І. Нікітенко// Системні методи керування, технологія та організація ремонту і експлуатації автомобілів. – 2001. – №12. – С. 373-376.
35. Вельский Е. А. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах / Е. А. Вельский. – М: Транспорт, 1982. – 284 с.
36. Білятинський О.А. Проектування автомобільних доріг / А.О. Білятинський, В.П. Старовойда, В.Й. Заворицький – Ч. I – К.: Вища школа, 1997. – 513 с.
37. Белятинський А.О. Застосування методів фотограмметрії для визначення витрат води при проектуванні мостових переходів// Вісник геодезії та картографії. – 1999. – №1. – С.28-29.
38. Белятинський А.О. Обстеження аерометрами переходів через водотоки з метою забезпечення безпеки руху автомобілів // Безпека дорожнього руху України. – 2001. – №2(10). – С. 55-58.

39. Коноплянко В.И. Основы безопасности дорожного движения/ В.И. Коноплянко. – М.: ДОСААФ, 1978. – 128 с.
40. Константинов Н. М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. В 2 ч. Ч.2 Специальные вопросы / Н. М. Константинов, Н. А. Петров, Л. И. Высоцкий. – М: Высшая школа, 1987. – 431 с
41. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. [Чинний від 31 липня 1997 року]. Вид. офіц. Київ, 1997. 23 с.
42. Белятинський А.О. Наукові методи оцінки гідрологічної ситуації на мостових переходах в гірських умовах Карпат. Моногр. / А.О. Белятинський – К.: ЛДЛ, 2007 – 128 с.
43. Огорокова Е.М. Влияние метеорологических условий на возникновение дорожно-транспортных происшествий / Е.М. Огорокова // ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. –1971 вып. 4 – С. 1-23.
44. Перков Ю.Р. Состояние обочин и безопасность движения / Ю.Р.Перков, Т.Е. Борон // Автомобильные дороги. – 1972. – №10. – С.12-14.
45. Иванов В.И. Влияние ширины проезжей части автомобильных дорог на безопасность и режим движения транспортных средств/ В.И. Иванов. – М.: Высшая школа, 1972. – 405 с.
46. Ігнатов С. Л. Удосконалення проектування мережі автомобільних доріг : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.11 "Автомобільні шляхи та аеродроми" / Ігнатов С. Л. – К, 1999. – 21 с.
47. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения. / В. И. Коноплянко. – К: Вища школа, 2007. – 304 с.
48. Белятинський А.О. Аерогідрометричний спосіб визначення витрат води за поверхневими швидкостями // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2002», травень 2002 р. – Київ: Національний авіаційний університет, 2002. – С.87 – 91.
49. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

50. Gatia G., Amelioration d S'adherence pneumatque – chaussee. Utilisation d'un systeme de freinage antibloquant. Bul. Hais. Lab. Ponts et chaussees, 1974, N73, p.24-28.

51. Горелышев Н.В. Прогрессивные конструкции дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием / Н.В. Горелышев // Автомобильные дороги. – 1971. – №73. – С. 5-8.

52. Сюньи Г. К. Асфальтовый бетон / Г. К. Сюньи. – К: Изд-во лит. по строит. и архитектуре УССР, 1962. – 234 с.

53. Гезенцвей Л. Б. Дорожный асфальтобетон. Под ред. Гезенцвея Л.Б. 2-е изд. перераб. И доп. / Л. Б. Гезенцвей. – М: Транспорт, 1985. – 350 с.

54. Сюньи Г. К. О причинах образования температурных трещин на городских асфальтобетонных покрытиях и мерах их предупреждения / Г. К. Сюньи. – К: Госстройиздат, 1965. – 121 с.

55. ДСТУ Б В.2.7-119-2011.Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови [Чинний від 30 грудня 2011 року]. Вид. офіц. Київ, 2011. 55 с.

56. Гезенцвей Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов / Л. Б. Гезенцвей. – М: Стройиздат, 1971. – 255 с.

57. Горелышев Н. В. Асфальтобетон и другие битумо минеральные материалы / Н. В. Горелышев. – М.: Можайск: Терра, 1995. – 176 с.

58. И.В. Королев Принципы направленного структурообразования асфальтобетона. Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: Сб. трудов. Тезисы докладов всесоюзной конференции. Харьков. – 1983. – С. 8-9.

59. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков: Вища школа, 1977. – 116 с.

60. Белятинський А. О. Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів / А. О. Белятинський, К. В. Краюшкіна. – Київ: НАУ, 2016. – 243 с.

61. Takahashi F., Shimaoka T., Gardner K., Kida A. Size-depended enrichment of waste slag aggregate fragments abraded from asphalt concrete. Journal of Harardous materials. 194, 209-215. <http://dx.doi.org/10.1016/jhazmat.2011.11.07.86>.
62. Krayushkina K.. Use of steel slags in automobile road construction. / K. Krayushkina, O. Prentkovskis, A. Bieliatinskyi, R.Junevicius // – Transport. 2012. – 27.2. – P.129-137.
63. Peterson J.C. Molecular interaction of asphalt in the asphalt aggregate interface region / E.V. Ensley, F. Barbous // Transport. Res. Ree. – 1974. – №515. – P.67-68.
64. Pilat J. Mieszanki mineralo-asfaltowe z dodatkiem mialu gumowego i wapna hydratezowanego / J.Pilat, M.Kalabinska, P.Radziszewski // Materialy Budowlane, 2000. – № 11. – P.60-62.
65. Руденская И. М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И. М. Руденская. – М: Транспорт, 1984. – 296 с.
66. Kandhal, P. Design, construction and maintenance of open-grated asphalt friction courses information series 115. National asphalt pavement association, 2002.
67. Методические рекомендации по применению высокопористого асфальтобетона с уменьшенным расходом битума в конструкциях дорожных одежд. – М.: СоюздорНИИ. – 1978. – 25 с.
68. Тимофеев С.А. Влияние состава пористого крупнозернистого асфальтобетона на его физико-механические свойства с назначением критериев его оптимизации / С.А. Тимофеев, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – №2. – С.8-13.
69. Тимофеев С.А. Пути улучшения физико-механических свойств пористых асфальтобетонов / С.А. Тимофеев, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – №1. – С.54-58.
70. Веренько В. А. Новые материалы в дорожном строительстве. УП / В. А. Веренько. – Минск: Технопринт, 2004. – 169 с.
71. Сюньи Г. К. Асфальтовый бетон / Г. К. Сюньи. – К: Госстройиздат, 1962. – 165 с.

72. Волков М.И., Борщ И.М., Королев И.В. Дорожно-строительные материалы. М.: Транспорт. – 1975. – 528 с.

73. Гезенцевей Л.Б. Развитие асфальтобетона в свете положений физико-химической механики / Л.Б. Гезенцевей // Труды СоюздорНИИ. – М., 1971 год. – Вып. 49. – С.34-42.

74. Сюньи Г.К., Ставицкий В.Д., Ковалевич В.Н., Горелов В.М., Захаров В.А., Баловнева И.И., Швидко Я.И. Дорожные пластобетоны. М.: Транспорт. – 1976 – 207 с.

75. Волков М.И. Некоторые вопросы теории асфальтобетона. / М.И. Волков // Труды МАДИ. – М., 1958 г. – Вып. 6. – С. 31-36.

76. Ладыгин Б. И. Основы прочности и долговечности дорожных бетонов / Б. И. Ладыгин. – Минск: Высшая школа БССР, 1963. – 328 с.

77. Краюшкина Е.В. Исследование транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий из асфальтобетона из шлаковых материалов в зимний период / Е.В. Краюшкина, А.А. Белятинский // Сб. статей 15 конференции молодых ученых Литвы «Наука – будущее Литвы». – 4 мая 2012 г. – Вильнюс. – С. 183-186.

78. Колбановская А. С. Дифференциальная пористость битумоминеральных материалов / А. С. Колбановская, М. В. Горелышев. – М: Автотрансиздат, 1959. – 178 с.

79. Benson E. Specific gravity of aggregates in Asphaltic. Paving Mixtures. / E. Benson // Highway Research Board Proceeding.– 1995. – №1.– 320 с.

80. Ritter H., Drake L. Pressure Porosimeter and Determination of complete macropore – size distributions Industrial and Engineering Chemistry. - Vol. 17 – №12 – 1945.

81. Drake L., Ritter H. Macropose – size distributions in some typical porous substances. Industrial and Engineering Chemistry. Vol.17 – №2 – 1945.

82. ГБН В.2.34376419184544:2014. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги [Текст] / Міністерство інфраструктури України. – Київ : [б. и.], 2014. – 143 с.

83. Р В.3.2-218-02070915-496:2005 Рекомендації по застосуванню геосинтетичних матеріалів при будівництві та ремонтах автомобільних доріг. Київ. 2005. – 45 с.

84. Заворицький В.Й. Обґрунтування можливості і доцільності застосування геотекстилю в ґрунтових масивах / В.Й. Заворицький, В.В. Петрович, В.І. Каськів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 1996.– Вип. 53.– С. 3-16.

85. Савенко В.Я. Армування ґрунтів земляного полотна / В.Я. Савенко, В.В.Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.– К.,1997. – Вип. 54. – С. 3-6.

86. Мерзликин А.Е. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд с цементобетонными основаниями с помощью георешеток / А.Е. Мерзликин // Сб. научн. трудов СоюздорНИИ. – М.,2001 – С.85-91.

87. Реміняко О.І. Проблеми розроблення математичних моделей і методів розрахунку армованих дорожніх конструкцій / О.І.Реміняко, О.М. Снітко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2008. – Вип.. 75.– С.283-286.

88. Ладиженський І.С. Підвищення тріщиностійкості та покращення характеристик асфальтобетону армуванням плоскими полімерними георешітками / І.С. Ладиженський, Д.М. Антоновський // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2008 р. – Вип.75 – С. 203-206.

89. Montestrugue G.E., Rodrigues R.M., Nods M., Elsing A. Stop of the reflective crack propagation with the use of PET geogrid as asphalt overlay reinforcement, Proceedings of the Fifth International RILEM Conference-Limoges, France. – 2004.

90. Дубровский В.А., Махова А.Ф.. Некоторые области применения базальтового штапельного волокна. Сб. статей «Волокнистые материалы из базальтов Украины». Киев «Техника» - 1971.

91. ТУ У 6.00209775.070-2000 Технические условия. Полотно сетчатое базальтовое для дорожного строительства. Центр стандартизации и метрологии. Киев. – 2000.

92. Physical, Mechanical and durability characteristics of basalt FRP (BFRP) Bars Preliminary test results, Canada, Universite De Sherbrooke, April 2010.

93. Оснос М.С. Технические и экономические вопросы применения материалов на основе базальтовых волокон в авиационной промышленности / М.С. Оснос // Композитный мир. – 2017. – №4. – С. 26-30.

94. Оснос С.П. Армирующие и композитные материалы на основе БНВ в дорожном строительстве / С.П. Оснос, К.В. Краюшкина, Т.Ю. Химерык // Композитный мир. – 2017. – №5. – С. 27-34.

95. Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог / В. М. Сиденко, С. И. Михович. – М: Транспорт, 1998. – 287 с.

96. П Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ. 2009, 231 с.

97. Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков / В. Н. Гончаров. – Л: Гидро-метеоиздат, 1962. – 374 с.

98. Немчинов М.В. Проектирование водостока в городах. Учебное пособие/ М.В. Немчинов. – М.: МАДИ, 1998. – 36 с.

99. Немчинов М.В. Проектирование и строительство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью/ М.В. Немчинов. – М.: МАДИ, 1982. – 142 с.

100. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис....доктора техн. наук / І.П. Гамеляк. – К: Національний транспортний університет, 2005. – 525 с.

101. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: автореф. дис.. на здобуття наук. ступеня канд.. техн.. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / І.П. Гамеляк. – К.: Національний транспортний університет, 2005. – 34 с.

102. Champagne D/ Impact of highway deicing salts on rural stream water quality. – Transportation Research Record. – 1977. – N647. – P. 47-52.

103. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.

104. Проектирование и строительство автомобильных дорог: Справочник/ В.И. Заворицкий, В.П. Старовойда, А.А.Белятынский и др. – К.:Техника, 1996. – 383 с.

105. Повышение надежности автомобильных дорог / [И. А. Золотарь, В. К. Некрасов, С. В. Коновалов та ін.]. – М: Транспорт, 1977. – 183 с..

106. Гамеляк І.П. Технологічна надійність влаштування асфальтобетонного покриття / І.П. Гамеляк // Автошляховик України. – К., 2007. – С.45-48.

107. Лебедев О.С. Дослідження показань поштовхоміра як показника рівності дорожнього покриття / О.С. Лебедев // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2004. – Вип. 72. – С. 40-46.

108. ГСТУ 218-02070915-102-2003. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи та засоби. Державна служба автомобільних доріг України. К., 2003, 34 с.

109. Кизима С.С., Андреев С.І., Канін О.П., Лихоступ М.М., Сизоненко В.В. Система управління станом покриттів. Інструкція до формування банка даних для системи за результатами натурних обстежень автомобільних доріг. Українська державна корпорація «Укравтодор». К., 2001 – 39 с.

110. Стороженко М.С. Совершенствование методов оценки показателей ровности и сцепных качеств дорожных покрытий / М.С. Стороженко, И.В.Кияшко, Р.В.Смолянюк // Автошляховик України.– 2003. – №5 – С. 33-39.

111. Бабков В. Ф. Современные автомобильные магистрали / В. Ф. Бабков. – М: Транспорт, 1974. – 280 с.

112. Васильев А.П. Причины образования колеи и пути их устранения / А.П. Васильев // Наука и техника в дорожной отрасли. – Москва: Изд-во «Дороги», 1999. - №2. – С. 6 – 9.



113. Беятинський А.О. Захист яру від розмиву поверхневою водою / А.О. Беятинський, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – №3 – 4. – С. 203 – 206.

114. Беятинський А.О. Реконструкція аеродромів України / А.О. Беятинський, О.М. Резнік // Вісник Національного авіаційного університету. – 2007. – №3 – 4 (33). – С. 159 – 160.

115. Reznik A. Highway Design on the Sections Affected by Aquaplaning / A. Reznik, A. Beljatynskij // Technika. Vilnius: Lithuania: 2009. – Vol.1, №6. – P. 29 – 32.

116. Беятинський А.О. CREDO MIX – цифрова модель проекту / А.О. Беятинський, Л.Г. Чичикало, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 97 – 99.

117. Резнік О.М. Актуальність проблеми аквапланування в дорожньому будівництві / О.М. Резнік, А.О. Беятинський // Містобудування та територіальне планування: наук.-тех. зб. – 2012. – Вип. 45 у 3 частинах. – Частина 3. – С.97 – 101.

118. Ремига Ю.С. Значення комплексного критерію оцінювання управління ризиками в діяльності транспортних підприємств / Ю.С. Ремига, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2017. – №2. – С. 191 – 197.

119. Резнік О.М. Врахування виникнення аквапланування при оцінюванні безпеки руху автотранспорту / О.М. Резнік, Ю.С. Ремига // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №2. – С. 166 – 171.

120. Беятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд і автошляхів / А.О. Беятинський, Т.О. Утеченко, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 99 – 101.

121. Резнік А.Н. Проектирование автодорог на отрезках, подверженных аквапланированию / А.Н. Резник, А.А. Беятынский // Сборник докладов 12-й конференции молодых учёных Литвы "Наука – будущее Литвы. Транспорт". – Литва. Вильнюс: Техника, 2009. – №2. – С.29.

122. Белятинський А.О. Продовження терміну служби цементобетону за допомогою полімерних домішок / А.О. Белятинський, О.М. Резник // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.447.

123. Белятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд автошляхів / А.О. Белятинський, Т.О. Утеченко, О.М. Резник // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.504.

124. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3 – 218 – 186 – 2004. – К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.

125. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3 – 4: 2015. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 104 с.

126. Шехтер О.Я. К расчету фундаментных плит на упругом слое грунта конечной мощности /О.Я. Шехтер//Труды НИИМСВВП. – М., Госстройиздат. – №11. – 1948.

127. Медников И.А. Напряжения в покрытиии из разномодульных материалов / И.А. Медников// Труды МАДИ. – М., 1967. – С. 16-20.

128. Медников И.А. Изгиб плит на упругом основании при неполном контакте с основанием / И.А. Медников, С.А. Матвеев // Труды МАДИ. – М., 1978. – С. 14-17.

129. Яковлев Ю.М. Сравнение методов оценки прочности нежестких дорожных одежд / Ю.М. Яковлев // Труды МАДИ. – М.,1979. – С. 3-8.

130. ИН УССР 003-84 Инструкция. Определение экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Миндорстрой УССР. – К.: Оргдорстрой, 1984.

131. ВСН 21083 Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог. Минавтодор РСФСР. – М. Транспорт. – 1983. – 123 с.

132. Эффективность капитальных вложений. Сб. утвержденных методик. – М. Экономика. – 1983. – 112 с.

133. ВСН 25-86 Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. Миндорстрой РСФСР. М. Транспорт. – 1988. – 183 с.

## ДОДАТКИ

**ДОДАТОК А**  
**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УЛАШТУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНОГО**  
**ПРОШАРКУ В КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА**  
**АВТОМОБІЛЬНІЙ ДОРОЗІ ЛЬВІВ-ТЕРНОПІЛЬ, КМ 60+500 – КМ 62+700**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут Аеропортів

03680 м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1

тел/факс (044) 406-72-89

e-mail: nnu.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи  
Національного авіаційного  
університету



В.П.Харченко

2018 р.

**Рекомендації щодо улаштування геосинтетичного  
прошарку в конструкції дорожнього одягу на  
автомобільній дорозі  
Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700**

Керівник розробки,  
Завідувач кафедри реконструкції  
аеропортів та автошляхів, д.т.н., проф.

А.О.Белятинський

Відповідальний виконавець,  
Аспірант кафедри

О.М. Рєзнік

Київ

2018

## ЗМІСТ

1. Сфера застосування
2. Нормативні посилання
3. Загальні положення
4. Місце розташування геосинтетичного прошарку в конструкції дорожнього одягу
5. Технологія виконання робіт
  - 5.1 Вимоги до матеріалів, що використовуються
  - 5.2 Основні технологічні операції з улаштування геосинтетичного прошарку
  - 5.3 Вимоги до охорони навколишнього середовища
  - 5.4 Транспортування та зберігання геосинтетичних матеріалів
- Загальні висновки

## **1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Ці Рекомендації щодо укладання геосинтетичного матеріалу при виконанні робі на автомобільній дорозі Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700 (далі - Рекомендації) згідно ДБН В.2.3-4 призначені для інженерно-технічних працівників, що виконують роботи для покращення транспортно-експлуатаційного стану на автомобільній дорозі.

## **2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

У цих Рекомендаціях є посилання на такі нормативні документи:

ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.

ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.

ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови.

ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.

ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.

## **3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Підвищення якості та довговічності асфальтобетонних покриттів в умовах постійного збільшення діючого навантаження є актуальною і важливою проблемою, ліквідація якої виконується за допомогою використання новітніх технологій і сучасних матеріалів.

Підвищення довговічності нежорстких дорожніх одягів, попередження розвитку існуючих деформацій і руйнувань можна використанням геосинтетичних прошарків. Працюючи у контактi з вищерозташованим шаром, прошарки із геосинтетичних матеріалів перерозподіляють навантаження між



ділянками, відводять надлишкову воду з дорожньої конструкції, попереджуючи виникнення небезпеки аквапланування.

Геосинтетичні прошарки виготовляються із різних полімерних матеріалів та базальту і характеризуються високими фізико-механічними властивостями – міцністю, стійкістю до низьких температур і агресивного середовища, несхильністю до корозії і гниття, низькою повзучістю і довговічністю.

Використання геосинтетичних матеріалів між шарами асфальтобетону значно покращує термореологічні властивості матеріалу шарів (асфальтобетону), забезпечує необхідне зчеплення шарів покриття. Наявність підкладки із ультратонкого нетканого полімерного матеріалу має суто технологічне значення – покращення зручності укладання (забезпечення рівномірності розподілу геосинтетичного матеріалу по поверхні нижче розташованого шару).

Нежорсткий дорожній одяг з використанням геосинтетичних прошарків являє собою композитний матеріал, в якому геосинтетичний матеріал є матрицею, а асфальтобетон – заповнювачем.

#### **4. МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНОГО ПРОШАРКУ В КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

Геосинтетичний матеріал в дорожніх конструкціях використовується для перерозподілу напружень від проїзду транспортних засобів, підвищення довговічності і запобігання тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах, збільшення несучої здатності, міцності шарів дорожнього одягу, відведення надлишкової води з конструкції. Завдяки застосуванню геосинтетичних матеріалів в асфальтобетонному покритті зменшується можливість утворення колійності, поява відображених тріщин та тріщин від втоми.

Відповідно до накопиченого досвіду від застосування геосинтетичних матеріалів при армуванні асфальтобетонних покриттів, прошарок може укладатися під всі типи сумішей (розмір часток до 40 мм), але повинна

виконуватись умова щодо співвідношення між розмірами вічок  $l_{\text{віч}}$  і найбільшим діаметром заповнювача в асфальтобетоні  $d_{\text{max}}$  (відношення  $l_{\text{віч}} / d_{\text{max}} \geq 1,0-1,5$ ).

Згідно ГБН В.2.3-37641918-544 «Застосування геосинтетичних матеріалів в дорожніх конструкціях», п.12.2.31, в залежності від дорожньо-кліматичної зони пропонується укласти поверх геосинтетичного матеріалу шар асфальтобетону не менше ніж 10 см.

## 5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Застосування геосинтетичних прошарків у шарах дорожнього одягу не вносить істотних змін у звичайну технологію виконання робіт. Особливості пов'язані лише з влаштуванням шарів, які безпосередньо контактують із прошарком і введенням додаткової операції з укладання геосинтетичного прошарку.

Остання операція через технологічність синтетичних прошарків, зручну форми їх постачання, як правило, не затримує будівельний потік. Продуктивність робіт з укладання полотен залежить від:

- швидкості розкочування рулонів (складає 1500-2000 м<sup>2</sup>/год при ширині 1,5-2,0 м);
- витрати часу на вирівнювання;
- анкерування полотна (складає в середньому 0,18-0,20 год. на одне полотно) при його довжині 80-100 м.

Орієнтовно продуктивність укладання геосинтетичних прошарків складає від 1000 м<sup>2</sup> до 10000 м<sup>2</sup> за зміну (при ширині від 2 до 4 м : поздовжнє укладання).

### 5.1 Вимоги до матеріалів, що використовуються

При укладанні геосинтетичного прошарку в асфальтобетонному покритті додаткові вимоги до шарів конструкції дорожнього одягу не висуваються.

Органічні в'язучі, що застосовуються для підґрунтовки, повинні відповідати вимогам: бітум – ДСТУ 4044, бітумна емульсія – ДСТУ Б В.2.7-129.

Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-129.

Кількість бітумного матеріалу для підґрунтовки визначається проектом відповідно до вимог ГБН В.2.3-3761918-544.

## **5.2 Основні технологічні операції з улаштування геосинтетичного прошарку**

Роботи щодо улаштування геосинтетичного прошарку у верхніх шарах дорожніх конструкцій виконують за типовими технологічними картами і включають такі операції:

- підготовка основи;
- розлив органічного в'язучого;
- укладання та закріплення геосинтетичного матеріалу;
- повторний розлив в'язучого та прикочування легким котком;
- влаштування верхнього асфальтобетонного шару.

Вищенаведені операції виконують в одну зміну з плануванням мінімально можливої довжини потоку (не більше ніж 60 м), застосовуючи існуючий парк машин у загоні.

Величина змінної захватки повинна бути кратною довжині полотна у рулоні.

Основа, на яку укладається геосинтетичний прошарок, повинна бути сухою (зволожена при використанні бітумної емульсії), очищена від масляних плям, слідів розмітки, нафти, рослинності, щебеню, гравію тощо.

Не пізніше, ніж за 6 годин до початку укладання верхнього шару із асфальтобетонної суміші, на шар дорожнього одягу, на який укладається геосинтетичний прошарок, необхідно нанести підґрунтовку у визначеній кількості, основний розлив в'язучого виконувати автогудронатором.

Температура бітуму повинна бути в межах 140-160 °С, а бітумної емульсії – не більше 70 °С. Розлив в'язучого виконують на половині ширини проїзної частини. Ширина нанесення в'язучого повинна перевищувати ширину геосинтетичного прошарку на 0,15-0,20 м.

Укладання геосинтетичного матеріалу виконують одразу після нанесення підґрунтовки шляхом розкочування рулонів: рівно, без перекосів і складок з невеликим поздовжнім натягінням – близько 10 см на кожні 5 м ділянки.

Полотна геосинтетичного прошарку укладають з відступом 10 см.

При використанні геосинтетичних матеріалів в асфальтобетонних покриттях додаткові вимоги до матеріалів шарів конструкції дорожнього одягу не висуваються.

Органічні в'язучі, що застосовують для підґрунтовки, повинні відповідати вимогам: бітуми – ДСТУ 4044, бітумні емульсії – ДСТУ Б В.2.7-129, модифіковані бітуми – ДСТУ Б В.2.7-135. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон повинні задовольняти вимогам ДСТУ Б В.2.7-119. Щебенево-мастикові суміші та асфальтобетон повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-127.

В якості геосинтетичних матеріалів використовують суцільні полотна відповідно до вимог нормативних документів та чинного законодавства. Для армування асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів використовують геосинтетичні матеріали на основі полімерних чи базальтових волокон.

Для забезпечення ефективного використання геосинтетичних матеріалів його видовження при розтягу не повинно перевищувати максимального видовження при розриві композиту (асфальтобетон та геосинтетичний матеріал), яке становить (6–12) % в залежності від виду полімеру та температури випробування. Робота асфальтобетонного покриття в пружній стадії зворотних деформацій забезпечується при видовженні геосинтетичного матеріалу в межах (3–6) %.

Відсіпання на укладений геосинтетичний прошарок вищерозташованого шару необхідно проводити таким чином, щоб геосинтетичний матеріал знаходився під дією денного світла не більше 5 годин.

Відсіпання матеріалу на прошарок ведуть способом «від себе» без заїзду зайнятих на будівництві машин на відкрите полотно. Розрівнювання асфальтобетону ведуть асфальтоукладачем, регулюючи рух автомобілів, які підвозять асфальтобетонну суміш.

Режим руху автомобілів, які підвозять асфальтобетонну суміш, повинен бути таким, щоб було виключено пошкодження геосинтетичного матеріалу. Розворот автомобілів повинен виконуватись за межами ділянки з прошарком, а заїзд на прошарок заднім ходом по одній колії з наступним виїздом по тій же колії. У випадку, якщо відразу чи після визначеного числа проходів по колії відмічається прилипання прошарку до коліс, рекомендується виконати по колії розсип піску тонким шаром і скоригувати у бік зменшення норму витрат в'язучого.

Роботи по укладанню геосинтетичних прошарків виконуються вручну ланкою з трьох дорожніх робітників.

Рулони транспортують до місця виконання робіт безпосередньо перед укладанням, розподіляючи по довжині захватки через відстань, що дорівнює довжині полотна в рулоні.

При виконанні робіт необхідно проводити візуальний контроль якості геосинтетичних полотен, оперативно вирішувати технічні питання, що виникають в процесі проведення робіт.

### **5.3 Вимоги до охорони навколишнього середовища**

Проектування дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів повинно здійснюватися відповідно до вимог нормативних документів, діючих на території України. При будівництві дорожніх об'єктів повинно бути забезпечено виконання вимог з охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, обліку

найближчих та віддалених екологічних, економічних, соціальних, демографічних наслідків будівництва при пріоритеті охорони здоров'я людини та благополуччя населення.

При техніко-економічному обґрунтуванні проекту повинні враховуватися сучасний рівень науково-технічного прогресу і гранично-допустимі навантаження на навколишнє природне середовище як у будівельний, так і в експлуатаційний періоди і передбачатися надійні та ефективні заходи попередження та усунення забруднення навколишнього природного середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, оздоровлення навколишнього природного середовища.

При проектуванні та будівництві дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів повинні бути повністю враховані реальні потреби в електроенергії та водопостачанні даного регіону, рельєф місцевості для розміщення об'єкту, заходи по максимальному збереженню земель і лісів, населених пунктів, пам'яток природи, історії та культури, ефективної охорони рибних запасів, своєчасної утилізації деревини та родючого шару ґрунтів під час розчищення і затоплення ложа водосховища, та недопущення негативних змін у навколишньому природному середовищі.

При проектуванні не слід застосовувати ґрунтові та неґрунтові матеріали, а також технології, що спричиняють хімічне, фізичне і біологічне забруднення навколишнього середовища.

При розробці проектів для будівництва і реконструкції автомобільних доріг та інших дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів, техніко-економічні та транспортно-експлуатаційні характеристики об'єкта проектування повинні вирішуватися в комплексі з питанням захисту навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів.

До складу проекту має входити окремий розділ «Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)», який розробляється згідно з вимогами ДБН А.2.2-1, ДБН А.2.2-3, ДБН В.2.3-5 з урахуванням положень чинних

нормативно-правових актів у галузі охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Матеріали ОВНС необхідно розробляти на основі екологічних, геозооботанічних, інженерно-геологічних, санітарно-гігієнічних та інших необхідних натурних та лабораторних досліджень на базі сучасних методик і технічних засобів.

З метою оптимізації проектних робіт та процедури ОВНС всі дорожні об'єкти поділяють на три екологічних класи. Вимоги до проектування таких об'єктів мають відповідати ДБН В.2.3-4.

При проектуванні автомобільних доріг із використанням геосинтетичних матеріалів оцінці впливу на навколишнє середовище підлягають усі джерела впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище, крім технологічних процесів будівництва та утримання.

При розробці матеріалів ОВНС необхідно порівнювати кількісні показники забруднення навколишнього природного середовища відпрацьованими газами, твердими викидами, шумом, іншими факторами дії транспортних засобів на навколишнє природне середовище з гранично допустимими концентраціями забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, водоймищах і ґрунтах та іншими санітарно-гігієнічними нормами, що встановлені для даної території.

При проектуванні реконструкції дорожніх об'єктів необхідно порівнювати існуючий вплив об'єкта на навколишнє природне середовище з впливом на нього після проведення реконструкції.

При проектуванні автомобільних доріг, дорожніх споруд, об'єктів дорожнього сервісу тощо із використанням геосинтетичних матеріалів перевагу належить віддавати рішенням, що мінімально впливають на навколишнє природне середовище.

У разі перевищення встановлених для даної території санітарно-гігієнічних норм забруднення, суттєвого втручання в біосистеми на прилеглих територіях, необхідно передбачати відповідні санітарно-захисні, природоохоронні, інженерні та технічні заходи: будівництво шумозахисних

екранів, застосування дорожніх покриттів, на яких шум при проїзді автомобілів має найменшу величину, влаштування водовідвідних та водоочисних споруд, посадки спеціальних зелених насаджень, влаштування біопереходів, регулювання режимів руху автотранспорту, влаштування відповідного покриття та укріплення узбіч для зниження пилоутворення тощо.

Для управління екологічними процесами необхідний постійний контроль стану всіх компонентів природно-технічної системи, який має здійснюватися у складі екологічного моніторингу.

Моніторинг має здійснюватись постійною службою збору та обробки екологічних даних і бути частиною виробничого процесу, пов'язаного з природокористуванням, і в міру накопичення даних спостережень дозволяти своєчасно визначати напрямки розвитку тенденцій екологічних систем, змінювати протікаючі в них процеси в бажаному напрямку, виявляти керуючі параметри, оперативно реагувати на можливі аварійні ситуації, пов'язані з природокористуванням.

При зберіганні, транспортуванні, застосуванні та при здійсненні робіт із використання геосинтетичних матеріалів не відбувається забруднення води, ґрунту, а також надходження канцерогенних та мутагенних речовин в навколишнє природне середовище.

#### **5.4 Транспортування та зберігання геосинтетичних матеріалів**

Умови транспортування, розвантаження і зберігання геосинтетичних матеріалів повинні відповідати вимогам нормативних документів на відповідні матеріали.

Рулони матеріалів необхідно транспортувати і зберігати на сухій, чистій і рівній поверхні, горизонтально вкладеними; місце для зберігання повинно бути вільним від гострих предметів.

При розвантаженні чи навантаженні рулони не допускається перегинати; для розвантаження та вкладання важких рулонів необхідно застосовувати спеціальні траверси.



Допустима висота складування рулонів геосинтетиків повинна відповідати вимогам нормативних документів на відповідні матеріали. Рулони не допускається складувати навхрест. Матеріали необхідно зберігати в оригінальному пакуванні від виробника; розпаковувати рулони необхідно безпосередньо перед укладанням (окрім проведення вхідного контролю якості продукції).

Геосинтетичний матеріал, який постачають на об'єкт будівництва, повинен пройти вхідний контроль на відповідність вимогам нормативних документів та чинному законодавству. Матеріал, який за результатами вхідного контролю не відповідає вимогам нормативних документів та чинному законодавству, повинен бути вивезений з об'єкта та замінений на відповідний.

Відбір проб і вхідний контроль на відповідність нового матеріалу виконують представники технічного контролю або особа, на яку покладено ці обов'язки.

Контролювання відповідності якості робіт із застосуванням геосинтетиків на об'єкті будівництва виконується у відповідності до ДБН А.3.1-5 і включає такі етапи:

- 1) перевірку відповідності підготовленої основи перед укладанням геосинтетичного матеріалу (стан ґрунту, рівень ґрунтових вод, коефіцієнт ущільнення, товщина шарів, умови дренажу тощо);
- 2) встановлення відповідності проекту якості ґрунту (вологість, густина, гранулометричний склад, модуль пружності ґрунту та шарів дорожнього одягу, їх міцність на зсув, вміст органічних речовин тощо);
- 3) відповідність технічних характеристик геосинтетичного матеріалу вимогам проектної документації.

### **Загальні висновки**

1. Проведені дослідження і аналіз існуючого досвіду використання геосинтетичних прошарків свідчать, що це сучасний перспективний матеріал, який позитивно впливає на покращення стану доріг з нежорстким дорожнім

одягом, збільшуючи його міцність, довговічність і транспортно-експлуатаційні показники.

2. Геосинтетичні суцільні полотна типу ПСБ-Д (просочене) є найбільш придатним матеріалом при використанні для посилення дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, відводу надлишкової води з конструкції дорожнього одягу завдяки своїм фізико-механічним властивостям, корозійній і хімічній стійкості.

**ДОДАТОК Б**  
**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації**

1. Белятинський А.О. Захист яру від розмиву поверхневою водою / А.О. Белятинський, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – №3 – 4. – С. 203 – 206.

2. Белятинський А.О. Реконструкція аеродромів України / А.О. Белятинський, О.М. Резнік // Вісник Національного авіаційного університету. – 2007. – №3 – 4 (33). – С. 159 – 160.

3. Резнік А.Н. Проектирование автодорог на отрезках, подверженных влиянию аквапланирования / А.Н. Резнік, А.А. Белятинский // Mokslas – Lietuvos ateitis Science – Future of Lithuania. Vilnius: Lithuania: 2009. – Vol.1, №6. – P. 29 – 32.

4. Резнік О.М. Актуальність проблеми аквапланування в дорожньому будівництві / О.М. Резнік, А.О. Белятинський // Містобудування та територіальне планування: наук.-тех. зб. – 2012. – Вип. 45 у 3 частинах. – Частина 3. – С.97 – 101.

5. Ремига Ю.С. Значення комплексного критерію оцінювання управління ризиками в діяльності транспортних підприємств / Ю.С. Ремига, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України. – 2017. – №2. – С. 191 – 197.

6. Резнік О.М. Врахування виникнення аквапланування при оцінюванні безпеки руху автотранспорту / О.М. Резнік, Ю.С. Ремига // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №2. – С. 166 – 171.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

7. Белятинський А.О. Продовження терміну служби цементобетону за допомогою полімерних домішок / А.О. Белятинський, О.М. Резнік // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.447.

8. Белятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд автошляхів / А.О. Белятинський, Т.О. Утеченко,

О.М. Резнік // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: збірник тез. – Дніпропетровськ, 2008. – С.504.

**Наукові праці, які додатково відображають результати дисертаційного дослідження**

9. Белятинський А.О. CREDO MIX – цифрова модель проекту / А.О. Белятинський, Л.Г. Чичикало, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 97 – 99.

10. Белятинський А.О. Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд і автошляхів / А.О. Белятинський, Т.О. Утеченко, О.М. Резнік // Наукоємні технології. – 2009. – №1. – С. 99 – 101.

**ДОДАТОК В****ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. «Наука – будущее Литвы. Транспорт» (г. Вильнюс, май, 2009 год); доклад: «Проектирование автодорог на отрезках, подверженных аквапланированию»;

2. «Людина і Космос» (м.Дніпропетровськ, березень, 2008 рік); доповідь: «Продовження терміну служби цементобетону за допомогою полімерних домішок»;

3. «Людина і Космос» (м. Дніпропетровськ, березень, 2008 рік); доповідь: «Комплекс CREDO – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд автошляхів».

**ДОДАТОК Г**  
**ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО –  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ  
З ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ  
ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

**УКРДІПРОДОР**



03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1  
тел./факс: (044) 249-84-83  
e-mail: okt@diprodor.com

“28” вересня 2009р.

№ 3598

на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### Акт впровадження

Результати кандидатської дисертації Резніка Олександра Миколайовича на тему "Проектування автомобільних доріг на ділянках з високим ризиком аквапланування" впроваджені в автоматизований процес проектування ділянок автодоріг.

Впровадження має безумовний економічний ефект.

Заступник директора  
ДП "Укрдіпродор"



В.Г. Шкурат

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ "Євробан-захід"

Ю.М.Бондаренко



АКТ

будівництва дослідної ділянки

м.Київ

01.07.2017 р.

Ми, що нижчепідписались, аспірант кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету Резнік О.М., докторант кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету, к.т.н., с.н.с. Химерик Т.Ю., інженер ТОВ "Євробан-захід" Косяк О.А., склали дійсний акт в тому, що в період з 15 по 30 червня 2017 року на дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 - км 62+700 була побудована дослідна ділянка із двошарового асфальтобетонного покриття з прошарком із базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене).

Верхній шар покриття улаштований із пористого асфальтобетону товщиною 6 см - асфальтобетон АСГ Др.П.А-Б.НП.І на бітумі марки БНД 60/90 - ДСТУ Б В.2.7-119:2011 - суміш гаряча, дрібнозерниста, асфальтобетон пористий типу А-Б, непереривчастої гранулометрії, марки І, бітум в'язкий БНД 60/90.

Нижній шар покриття улаштований із щільного крупнозернистого асфальтобетону товщиною 10 см - АСГ Кр.Щ.А-Б.НП.І на бітумі марки БНД 60/90 - ДСТУ Б В.2.7-119:2011 - суміш гаряча, крупнозерниста, асфальтобетон щільний типу А, непереривчастої гранулометрії, марки І, бітум в'язкий БНД 60/90.

Базальтове полотно марки ПСБ-Д (просочене) виконує функції відведення води, яка просочується крізь пори верхнього шару і армування дорожнього одягу.



Полотно ПСБ-Д (просочене) укладали на нижній шар через 10 днів після його улаштування, з підгрунтовкою катіонною бітумною емульсією швидкорозпадною у кількості 0,9 л/м<sup>2</sup>. Полотно укладали шляхом розкочування рулону і закріплювали металевими дюбелями довжиною 5 см по краях.

Укладання пористого асфальтобетону виконувалось асфальтоукладальником. Ущільнення виконували з використанням статичних гладковальцьових котків. Ущільнення починали безпосередньо після укладання суміші.

Стан поверхні покриття задовільний.

Подальший нагляд за дослідною ділянкою буде здійснюватись НАУ і ТОВ "Євробан-захід".

Аспірант кафедри РААШ НАУ



О.М. Резнік

Докторант кафедри РААШ НАУ, к.т.н.



Т.Ю.Химерик

Інженер ТОВ "Євробан-захід"



О.А. Косяк

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Директор ТОВ "Євробан-захід"  
 Ю.М. Бондаренко  
 " 12 " грудня 2018 р.

### АКТ

про проведення досліджень на ділянці дороги з покриттям із пористого асфальтобетону, що попереджує ризик виникнення аквапланування автомобілів

Ми, що нижче підписались, завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету, д.т.н., проф. Белятинський А.О., аспірант кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету Резнік О.М., інженер ТОВ "Євробан-захід" Косяк О.А., склали дійсний акт в тому, що протягом 2017-2018 років проводилось обстеження стану асфальтобетонного покриття із пористого асфальтобетону, армованого суцільним базальтовим полотном марки ПСБ-Д (просочене) на автомобільній дорозі III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 - км 62+700, побудованого за результатами теоретичних і експериментальних досліджень О.М. Резніка.

Обстеження дослідної ділянки включали:

- візуальний огляд стану покриття;
- визначення модуля пружності дорожнього одягу;
- визначення рівності асфальтобетонного покриття;
- відбір кернів з покриття з проведенням лабораторних досліджень.

Візуальне обстеження ділянки показало, що стан покриття задовільний - тріщини, вибоїни, напливи, хвилі відсутні, утворення колійності не спостерігається.

Візуальне обстеження, проведене в дощову погоду показало, що шар води на покритті не утворюється, тобто в ущільненому матеріалі збережена діюча система пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється значно швидше ніж з покриття із щільного асфальтобетону. Ризик виникнення аквапланування автомобілів відсутній.

Підвищена пористість забезпечує водопроникність, що ліквідує наявність поверхневої води і не допускає утворення розбрикування рідини перед колесами автомобіля при дощовій погоді, що сприяє збільшенню видимості на дорозі, підвищує безпеку руху транспорту. Крім цього, шорстка текстура поверхні забезпечує зменшення рівня шуму, що виникає при взаємодії шини з покриттям.

Модуль пружності, який визначався за допомогою прогиноміру за рік роботи покриття на ділянці з покриттям із пористого асфальтобетону збільшився з 230 МПа до 295 МПа, на ділянці із щільного асфальтобетону з 225 МПа до 260 МПа, тобто на дослідній ділянці модуль пружності дорожнього одягу значно більший ніж мінімально допустимий для доріг III технічної категорії ( $E_{\text{потр}}=225$  МПа).

Вимірювання рівності асфальтобетонного покриття за допомогою триметрової рейки показало, що за строк експлуатації зниження рівності відбувалось в більшому ступені на контрольній ділянці ніж на покритті із пористого асфальтобетону. При цьому показники рівності на обох ділянках задовольняли вимогам нормативних документів.

Дослідження зміни коефіцієнта зчеплення показало значне його збільшення на покритті із пористого асфальтобетону з 0,39 до 0,48.

Це характерно для пористих сумішей у зв'язку з підвищеною кількістю у їх складі мінеральних зерен більше 5 мм і збільшеною шорсткістю поверхні. На контрольній ділянці коефіцієнт зчеплення знаходиться в межах нормативних вимог  $K_{зч}=0,38$ .

Відбір кернів з покриття показав, що структура однорідна, базальтовий прошарок щільно прилягає до нижнього шару покриття. Проведені лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей верхнього і нижнього шару покриття показують їх високу міцність і водостійкість завдяки наявності базальтового полотна марки ПСБ-Д (просочене), по якому вода відводиться по всій площині покриття з поперечним і поздовжнім похилом на узбіччя. Базальтове полотно забезпечує високу міцності пористого асфальтобетону,

рівномірно розподілюючи напруги від транспортних засобів по всій площі поверхні шару.

Таким чином, обстеження дослідної ділянки із пористого асфальтобетону з базальтовим полотном марки ПСБ-Д (просочене) показало його достатні деформаційно-міцнісні властивості і зсувостійкість, що забезпечує високу працездатність дорожнього одягу протягом нормативного міжремонтного строку служби.

Експлуатація автомобільної дороги з пористим асфальтобетонним покриттям дає визначений економічний ефект, який складається із таких основних складових:

- ліквідація ризику виникнення аквапланування автомобілів під час атмосферних опадів;
- підвищення безпеки руху, зниження кількості ДТП, забезпечення розрахункової швидкості руху автомобілів, зменшення шуму при взаємодії шини колеса з покриттям;
- забезпечення міцності, тріщиностійкості і зсувостійкості покриття із пористого асфальтобетону за рахунок улаштування під покриттям базальтового прошарку, який виконує функції водовідведення і армування вищерозташованого шару;
- більш раціональної експлуатації асфальтобетонного покриття із пористого асфальтобетону в зимовий період року за рахунок забезпечення транспортно-експлуатаційних показників - рівності та коефіцієнта зчеплення, зниження кількості ДТП, безперебійного руху транспортних засобів.

Завідувач кафедри РААШ НАУ, д.т.н., проф.

А.О.Белятинський

Аспірант кафедри РААШ НАУ

О.М. Резнік

Інженер ТОВ "Євробан-захід"

О.А. Косяк



ЗАТВЕРДЖУЮ

 Проректор з наукової роботи  
 В.П. Харченко  
 " 11 " 2018 р.

впровадження результатів дисертаційної роботи Резника Олександра  
 Миколайовича на тему

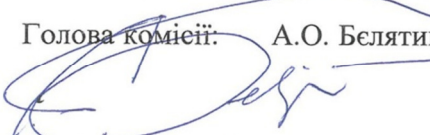



"Проектування автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем  
 небезпеки аквапланування" у навчально-виховний процес Національного  
 авіаційного університету

Члени комісії у складі : д.т.н. , професора , відповідального за навчально-методичну роботу НН ІАП НАУ Белятинського А.О., д.т.н., професора кафедри РААШ НН ІАП НАУ Першакова В.М., к.т.н., професора кафедри РААШ НН ІАП НАУ Ждановича М.П., к.т.н., доцента кафедри РААШ НН ІАП НАУ Степанчука О.В., склали цей акт про те, що у Національному авіаційному університеті при викладанні дисциплін "Інноваційні матеріали для будівництва доріг та аеродромів", "Проектування автомобільних доріг" та "Дорожні та аеродромні покриття" при виконанні курсових та дипломних робіт студентів за напрямом підготовки 6.060101 "Будівництво" впроваджено результати дисертаційної роботи Резника О.М., а саме:

- математичну модель оцінки впливу нерівностей покриття на швидкість аквапланування автомобіля з визначенням залежності довжини і часу спливання колеса;

- розроблену конструкцію дорожнього одягу із застосуванням пористого дрібнозернистого асфальтобетону у верхньому шарі покриття та базальтового суцільного прошарку марки ПСБ-Д (просочене);

Комісія у складі:

Голова комісії:	А.О. Белятинський	д.т.н., проф., відповідальний за науково-методичну роботу НН ІАП НАУ
	В.М. Першаков	д.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	М.П. Жданович	к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.І. Пилипенко	к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.В. Степанчук	к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ