

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**РІЗНИК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 69.052– 026.87 (043.3)

**ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ДІЛЯНКАХ З  
ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ АКВАПЛАНУВАННЯ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Белятинський Андрій Олександрович**,  
Національний авіаційний університет, завідувач  
кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Смірнова Наталія Володимирівна**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет, професор кафедри будівництва та  
експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля;

кандидат технічних наук, доцент  
**Пеньков Володимир Олексійович**,  
Харківський національний університет міського  
господарства ім. О.М. Бекетова,  
доцент кафедри земельного адміністрування та ГІС.

Захист відбудеться «5» липня 2019 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.062.12 в Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 5, ауд. 303.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий « 29 » травня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, доцент

О. В. Степанчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** 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 автомобільного транспорту, особливо на складних ділянках (повороти, круті схили, погана видимість).

Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) значно збільшується при русі автомобільного транспорту за складних погодних умов, зокрема під час опадів.

За даними статистики, відносна аварійність на вологому покритті в осінньо-весняний період в 2 – 2,5 рази вища, ніж на сухому.

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 чоловік, 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.

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

Вплив води на покриття не обмежується зменшенням коефіцієнту зчеплення. Рідина, що знаходиться на проїзній частині, здійснює динамічний тиск на шину колеса, викликаючи появу проковзування колеса по водяному шару (явище аквапланування автомобіля).

Частіше за все, аквапланування автомобіля відбувається на ділянках автомобільних доріг, де виникає застій води (ділянки увігнутих вертикальних кривих поздовжнього профілю чи горизонтальні ділянки автомобільної дороги) внаслідок дії атмосферних опадів. Це обумовлено недоліками, допущеними при проектуванні автомобільних доріг (невірний вибір геометричних параметрів та нерациональний вибір конструкції і матеріалів дорожнього одягу).

До ділянок автомобільних 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.

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.

Глибина води на проїзній частині автомобільної дороги та виникнення явища 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 автомобільних доріг, а саме: ширина проїзної частини, ухили автомобільних доріг, радіуси кривих.

Найголовнішим фактором попередження аквапланування автомобілів під час випадання значної кількості атмосферних опадів є вибір раціональної конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, склад якого дозволить вбирати надлишкову воду з поверхні покриття, не знижуючи при цьому міцність та довговічність нижче розташованих 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 та комфортності руху транспортних засобів зумовлює актуальність теми.

**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 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 зоошлакових сумішей для їх використання в дорожній та аеродромній галузях з видачею експертного висновку», 2016-2017 рр., темами дипломних робіт, магістерськими програмами і спецкурсами.

**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.

**Основні завдання дослідження.**

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 небезпеки аквапланування, підвищення міцності та довговічності дорожнього одягу.

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

**Об'єкт дослідження.** Явище виникнення аквапланування на ділянках автомобільної дороги з підвищеним рівнем небезпеки.

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

**Методи дослідження.** Методологічною основою 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 небезпеки 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.

**Практичне значення отриманих 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 автомобільних 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.

#### **Отримані результати роботи впроваджено та застосовано в діяльності:**

- Українським державним інститутом по проектуванню об'єктів дорожнього господарства «Укрдіпродор» при проектуванні автомобільних доріг на ділянках з високим ризиком виникнення аквапланування;

- ТОВ «Євробан-захід» при будівництві та обстеженні дослідної ділянки автомобільної дороги III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 62+700, де верхній шар покриття влаштований із пористого асфальтобетону АСГ Др. П.А- Б.НП.І, а нижній шар покриття – із щільного крупнозернистого асфальтобетону – АСГ Кр. Щ.А. – Б.НП.І. Між верхнім та нижнім шаром покриття укладене базальтове полотно марки ПСБ-Д (просочене), яке виконує функції відведення води, що просочується крізь пори верхнього шару і армування дорожнього одягу;

- кафедрою реконструкції аеропортів та автошляхів Навчально-наукового інституту аеропортів Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Інноваційні матеріали для будівництва доріг та аеродромів», «Проектування автомобільних доріг», «Дорожні та аеродромні покриття».

**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, 6] – теоретичні дослідження з удосконаленням математичної моделі виникнення аквапланування з урахуванням дії погоднокліматичних 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; [3] – аналіз існуючих методів проектування ділянок доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування; [4, 5] – 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 доріг та транспортних споруд на них; [9,10] – аналіз системи CREDO\_MIX, яка призначена для вирішення задач проектування генеральних планів підприємств, транспортних споруд і житлово-цивільних об'єктів.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень, практичних розробок та впровадження висвітлено в 2-х 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 і обсяг роботи.** 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність вибраної теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, наведені основні наукові результати, практичне значення отриманих результатів роботи, особистий внесок здобувача, дані щодо апробації результатів дослідження, публікації, структура та обсяг роботи.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведена класифікація факторів, що визначають зчеплення колеса автомобіля з покриттям автомобільної дороги, методи регулювання режимів руху транспортних потоків та обґрунтовано вибір раціональної конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки виникнення явища аквапланування.

Процес проектування автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування та забезпечення безпеки руху на цих ділянках досліджували В.О. Астров, В.Ф. Бабков, А.О. Белятинський, О.А. Білятинський, І.В. Бегма, О.П. Васильєв, Ф.П. Гончаренко, М.С. Замахасєв, Є.В. Іваниця, Я.А. Калужський, С.С. Кизима, В.М. Кисляков, І.В. Крагельський, К.В. Краюшкіна, Б.М. Косарєв, Ю.В. Кузнецов, Ю.С. Ларін, Л.Г. Мар'яхін, М.В. Немчинов, М.О. Паршин, Є.Г. Подліх, В.С. Порожняков, В.М. Сиденко, В.Ф. Скорченко, О.Є. Стефанович, І.Н. Христолюбов, Я.В. Хом'як, В.М. Юмашев, D. Damez, J. Martinez, K. Grosch, K. Pilkauskas, F. Sudwing, A. Zapragonas та ін.

Дослідження щодо можливості улаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону проводили такі вчені: І.М. Борщ, М.І. Волков, В.О. Золотарьов, І.В. Корольов, В.В. Мозговий, Г.К. Сьуньї.

На підставі аналізу літературних джерел, автором розроблена класифікація факторів, що впливають на значення коефіцієнту зчеплення, тобто на попередження виникнення явища аквапланування (рис.1). Але забезпечення нормативного значення коефіцієнта зчеплення залежить не тільки від транспортно-експлуатаційного стану покриття й дорожнього одягу в цілому, а й інших факторів.



Рис. 1. Класифікація факторів, що впливають на попередження появи аквапланування

Аналізуючи фактори забезпечення зчеплення колеса автомобіля з покриттям можна встановити, що регулювати значення коефіцієнта зчеплення 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.

Детальний огляд технічних рішень автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування показав їхню недостатність. Наприклад, влаштування водовідвідних та дренажних систем, укріплення узбіч або проектування автомобільних доріг при умові забезпечення безпеки руху з використанням теорії ризику, що є не технологічним, неекономічним та не вирішує проблему в цілому.

Тому виникає необхідність влаштувати раціональну конструкцію нежорсткого дорожнього одягу з використанням сучасних матеріалів – пористого асфальтобетону



та базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене). Це дозволить забезпечити своєчасне відведення води з поверхні проїзної частини і попередити аквапланування на складних ділянках автомобільних доріг.

Пористий (дренуючий) асфальтобетон має здатність вбирати в себе воду, сприяючи швидкому осушенню поверхні та попередженню виникнення застою води на покритті після дії атмосферних опадів.

У другому розділі дисертаційної роботи наведена удосконалена математична модель для оцінки впливу нерівностей покриття автомобільної дороги на швидкість аквапланування з визначенням залежностей відстані і часу спливання коліс від стану покриття. Ризик виникнення аквапланування  $R_A$  – це ймовірність появи цього явища на ділянках доріг з незабезпеченим водовідведенням, якщо покриття вкрите шаром рідини товщиною, достатньою для спливання передніх коліс автомобілів.

Враховуючи те, що аквапланування пов'язане зі змінами швидкості руху автомобілів, ризик виникнення цього явища можна виразити у вигляді:

$$R_A = \frac{n_v}{N_v}, \quad (1)$$

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, що дорівнює критичній.

Критична швидкість – це швидкість, при якій питомий гідравлічний тиск на шину колеса автомобіля в межах змоченої поверхні дорівнює питомому тиску в зоні безпосереднього контакту колеса з покриттям:

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

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.

При русі автомобіля на ділянці дороги, що покрита шаром рідини, виникає явище ковзання передніх коліс по цьому шару над покриттям автомобільної дороги. На початок аквапланування тиск переднього колеса на покриття дорівнює:

$$P_{ПК} = P_B = P_{ш}, \quad (3)$$

де  $P_{ПК}$  – тиск переднього колеса на покриття;  $P_B$  – тиск у шарі рідини;  $P_{ш}$  – тиск повітря у камері колеса.

На рис. 2 зображена схема взаємодії колеса автомобіля з плівкою рідини. На спливання коліс безпосередньо впливає лише плівкова вода, яка і призводить до виникнення явища аквапланування автомобілів.

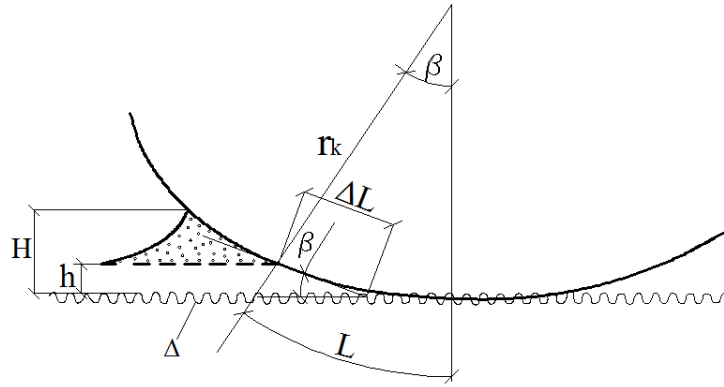


Рис. 2. Схема взаємодії колеса автомобіля з плівкою рідини

$\beta$  – середній кут ухилу 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

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

$$\Pi_k = \frac{\pi(r_k) \cdot \beta}{180}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{180 \cdot L}{\pi \cdot (r_k')}, \quad (5)$$

де  $r_k'$  – радіус обтисненого колеса;  $r_k' = \lambda \cdot r_k = (0,93 - 0,935) \cdot r_k$  – для шин низького тиску (легкові автомобілі);  $r_k' = \lambda \cdot r_k = (0,945 - 0,95) \cdot r_k$  – для шин високого тиску (вантажні автомобілі);  $r_k$  – радіус вільного руху колеса.

Тоді формула для визначення критичної швидкості, при якій відбувається явище аквапланування, має вигляд:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{ш}}{\pi \cdot \rho \cdot \sin \beta}}. \quad (6)$$

Ризик виникнення аквапланування  $R_A$  при швидкості  $V$  визначається за формулою:

$$R_A = 0.5 - \Phi \left[ \frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{h_{кр}}^2 - \sigma_{h_{ср}}^2}} \right]. \quad (7)$$

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;  $h_{ср}$  – фактична глибина шару рідини на покритті, за якої визначається ризик початку аквапланування зі швидкістю  $V_{кр}$ ;  $\sigma_{h_{кр}}$  та  $\sigma_{h_{ср}}$  – середні квадратичні відхилення параметрів  $h_{кр}$  та  $h_{ср}$ .

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

1. Вимірюється 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  $h_{кр}$ , і при цьому визначається кут спливання колеса  $\beta$ .
3. Визначається критична швидкість, яка відповідає початку аквапланування автомобіля при товщині шару рідини  $h_{cp} = h_{кр}$ .
4. Визначається коефіцієнт варіації за формулою:

$$C_v = C_v^{кр} = \frac{\sigma_h}{h_{cp}}. \quad (8)$$

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

Фактична товщина шару води на покритті встановлюється за залежністю:

$$h = \left[ \frac{a \cdot L \cdot n}{30 \sqrt{i}} \right]^{0,6}, \quad (9)$$

де  $a$  – інтенсивність дощу, мм/хв.;  $L$  – довжина ділянки стоку води, м;  $n$  – коефіцієнт шорсткості дорожнього покриття;  $i$  – ухил ділянки стоку води, %.

Однак вищенаведена залежність не враховує наявність нерівностей на покритті і може бути застосована лише на стадії проектування доріг. Нерівності, як правило, погіршують міцність дорожньої конструкції та 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 запобігти виникненню 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.

- кут спливання колеса.

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

$$h_{cp} = \frac{r_k}{2} \left[ \frac{\pi \beta}{180} \right]^2 + \Delta. \quad (10)$$

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

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

- ризик виникнення аквапланування автомобіля на шарі рідини (формула 7);
- довжину спливання колеса:

$$l_{\text{спл}} = \frac{h}{\text{tg}\beta}, \quad (11)$$

де  $h$  – фактична глибина шару води;

- час спливання колеса:

$$t = \frac{l_{\text{спл}}}{V}. \quad (12)$$

Якщо довжина нерівності, заповненої рідиною, є більшою або дорівнює  $l_{\text{спл}}$ , то аквапланування на даній довжині є можливим.

У третьому розділі дисертаційної роботи визначено фізико-механічні та структурно-механічні властивості пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна. Також розрахований оптимальний склад пористого асфальтового бетону та досліджена його довговічність в камері штучного клімату.

Кожен зразок асфальтобетону виготовлявся в сталевій формі за допомогою ущільнення гідравлічним пресом. Форми для виготовлення зразків представляють собою повні сталеві циліндри. При ущільненні в них сумішей забезпечувалось двостороннє прикладання навантаження.

Робочі моменти нагрівання сталевій формі та виготовлення та виготовлення асфальтобетонного зразка наведені на рис. 3.



Рис. 3. Робочі моменти нагрівання сталевій формі та виготовлення асфальтобетонного зразка: а – нагрівання сталевій формі; б – виготовлення асфальтобетонного зразка

Дослідження фізико-механічних властивостей пористого асфальтобетону, що пропонується для улаштування верхнього шару покриття на ділянках доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, проводилось за стандартними методиками згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7 – 119. Результати досліджень фізико-механічних властивостей пористого щебеневого асфальтового бетону наведені в таблиці 1.

Таблиця 1– Результати дослідження фізико-механічних властивостей 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	12,0
	20, не менше	2,5
	50, не менше	1,2
Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,85	0,85-0,75

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). Після проведених розрахунків до досліджень, прийнятий такий склад пористого щебеневого асфальтового бетону (у % за масою): щебінь гранітний фр. 20-40 мм – 15 %; щебінь гранітний фр. 5 -20 мм – 50 %; відсів дроблення – 30,5 %; бітум нафтовий марки БНД 60/90 – 4,5 %.

Фізико-механічні властивості базальтового суцільного полотна визначались згідно з вимогами ГБН В 2.3-37641918-544 та наведені в таблиці 2.

Таблиця 2– 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
Механічні властивості			
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>

Базальтове суцільне полотно укладається між шарами асфальтового бетону для швидкого відведення води по ухилу на укiсну 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 та поздовжніми ухилами.

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. Це пояснюється процесами полімеризації та окислення, які відбуваються в бітумі. Зразки пористого щебеневого 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 щебеневого асфальтобетону становить 7,9 МПа, в той час як у щільного дрібнозернистого асфальтобетону цей показник становить 6,7 МПа.

У четвертому розділі дисертаційної роботи наводяться результати дослідження транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг з покриттям із пористого асфальтобетону. Для оцінки транспортно-експлуатаційних показників визначались: міцність дорожнього одягу; рівність покриття; коефіцієнт зчеплення; фізико-механічні властивості асфальтового бетону шляхом відбору кернів з покриття. Зміни транспортно-експлуатаційного стану 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. 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 та підвищення міцності дорожньої конструкції за рахунок використання прошарку із 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 із дослідною ділянкою була влаштована контрольна ділянка (км 62+700 – км 65+000) з укладанням ПСБ-Д (просочене) під верхній шар із гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону.

Загальний вигляд дослідної та контрольної ділянки автомобільної дороги III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль наведений на рис. 4.

Розрахункові показники конструктивних шарів дорожнього одягу на дослідній ділянці автомобільної дороги III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль (км 60+500– км 62+700) наведені в таблиці 3.

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. Загальний модуль пружності дорожньої конструкції склав 504 МПа, а потрібний – 225 МПа (для III-ї категорії автомобільної дороги). Тому дана конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам надійності та міцності.



Рис. 4. Загальний вигляд дослідної та контрольної ділянки на автомобільній дорозі III-ї технічної категорії Львів-Тернопіль: а – дослідна ділянка; б – контрольна ділянка

Коефіцієнт ефективності армування за модулем пружності визначався як відношення площ епюр модуля пружності армованого асфальтобетону до неармованого асфальтобетону:  $K_A = \frac{F_a}{F_H} = \frac{15840}{11700} = 1,35$ . Розрахункове напруження розтягу при згині становить:  $\sigma_r = 0,791 \text{ МПа}$ , а міцність матеріалу при багаторазовому розтягу  $R_p = 1,92 \text{ МПа}$ . Потім перевіряється умова:

$$K_{мц} = \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r} = \frac{1,35 \cdot 1,92}{0,791} = 3,27 \geq 1,33. \quad (13)$$

Таблиця 3– Розрахункові показники конструктивних шарів конструкції дорожнього одягу на дослідній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль

Номери шарів	Матеріал шару	Розрахункові показники, $E, \text{МПа}$	Товщина шару, $t, \text{см}$
1	Асфальтобетон АСГ.Др.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90	2800	5
2	Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90	3200	10
3	Щебенево-піщана суміш ЩПС 40 (оброблена цементом), марка матеріалу М20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39	700	15
4	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	180	20
5	Пісок крупнозернистий згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95	100	20
6	Ґрунт земляного полотна – суглинок важкий пилуватий	40	-

Армована дорожня конструкція збільшує свою міцність у 2,5 рази.

Вимірювання глибини шару води проводились на контрольній ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль, оскільки на дослідній ділянці цієї дороги шару води на проїзній частині не було, тобто явище аквапланування відсутнє, що відмічене в акті обстеження стану дороги. На контрольній ділянці в 2017 році був

укладений шар покриття із гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону. Вимірювання проводили з використанням: мірної стрічки та рулетки; нівелірів НВ-1, Н-3; триметрової нівелірної рейки; секундоміра (рис.5). Схема вимірювань наведена на рис. 6.

Порівняння гістограми глибини шару води на досліджуваній ділянці дороги із щільністю нормального розподілу наведено на рисунку 7. Ймовірність розподілу складає  $P_i=0,58$ . 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  $P_i < 0,1$ .

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. Використовуючи метод підсумовування, отримані значення: середньої швидкості вільного руху ( $V_{cp} = 30,83 \text{ км/год}$ ), дисперсії ( $\sigma_v^2 = 70,18 \text{ км/год}$ ) та середнього квадратичного відхилення вільного руху ( $\sigma_v = 8,38 \text{ км/год}$ ).

Залежність швидкості руху автомобіля від глибини шару води на покритті наведена в таблиці 4.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4, видно, що на щільному асфальтобетонному покритті під час дощу утворився шар води. На дослідній ділянці автомобільної дороги шару води на проїзній частині не було.

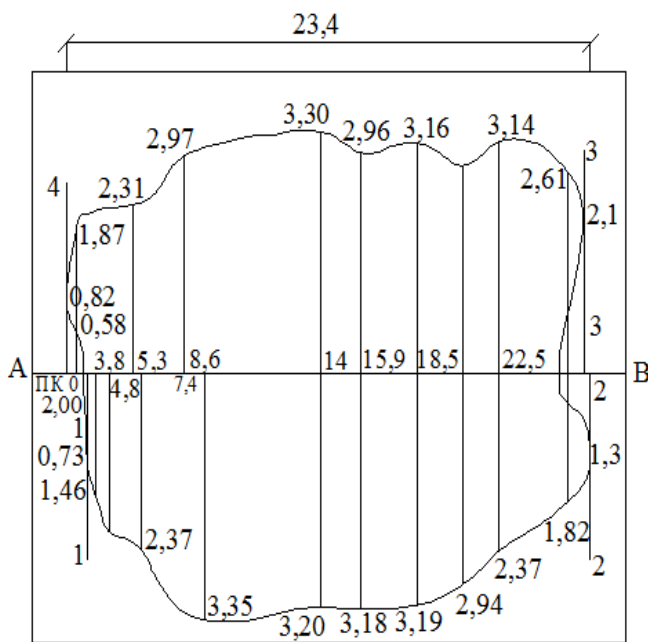


Рис. 5. Зйомка площі поверхні покриття з шаром води  
1 та 2 – створи для вимірювання швидкостей автомобілів під час їх руху від точки А до точки В; 3 і 4 – створи для вимірювання швидкостей автомобілів під час їх руху від точки В до точки А

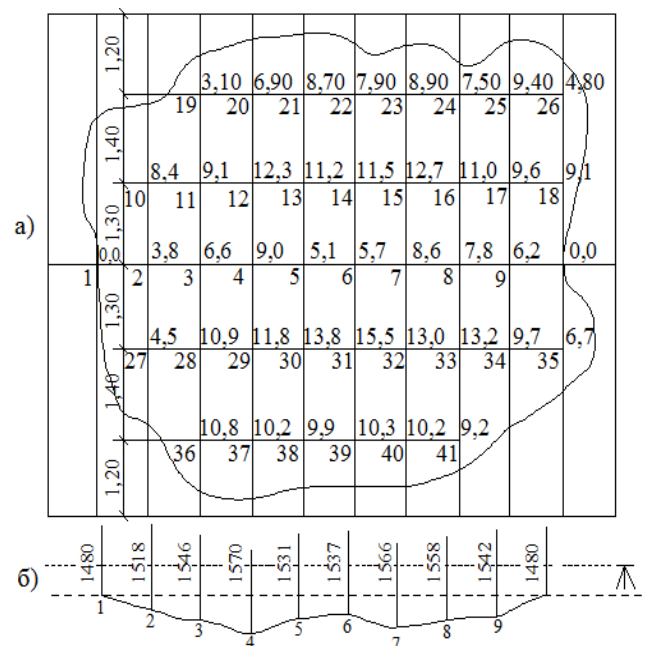


Рис.6. Визначення глибини шару води на покритті: а – вигляд ділянки у плані; б – вигляд ділянки у поздовжньому профілі  
0; 3,8; 6,6; 15,5 – глибина води, см;  
1480; 1518; 1546 – відліки за нівелірною рейкою



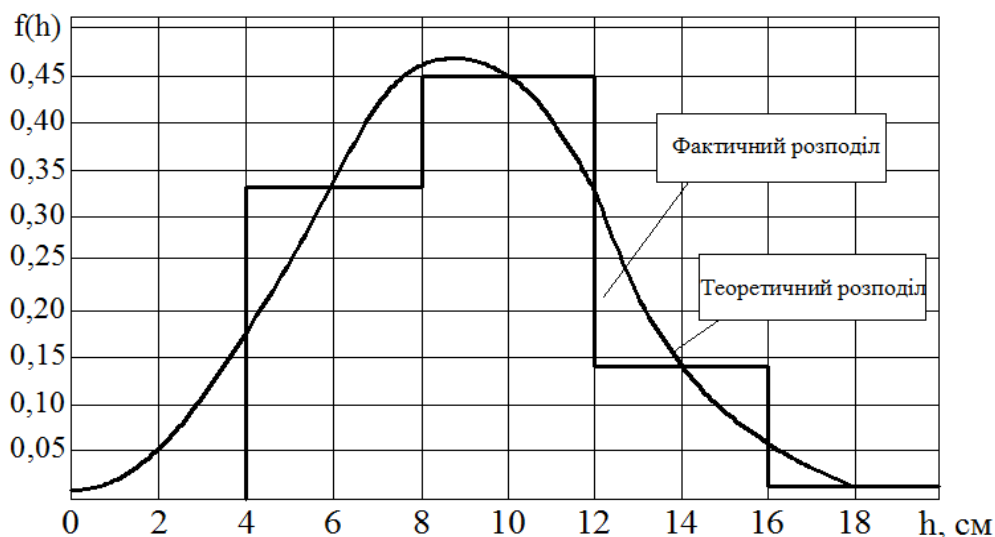


Рис. 7. Гістограма глибин шару води на покритті ділянки автомобільної дороги Львів-Тернопіль, км 62+700 – км 65+000

Зі збільшенням глибини шару води на покритті поступово знижується швидкість автомобілів до критичного значення, з якого починається аквапланування.

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 у вересні-жовтні 2017 року та квітні, липні, вересні 2018 року.

Таблиця 4 – 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

Графік зміни бальної оцінки стану дорожнього одягу при проведенні обстежень наведений на рис. 8.

Визначення міцності дорожнього одягу на дослідній та контрольній ділянках 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.

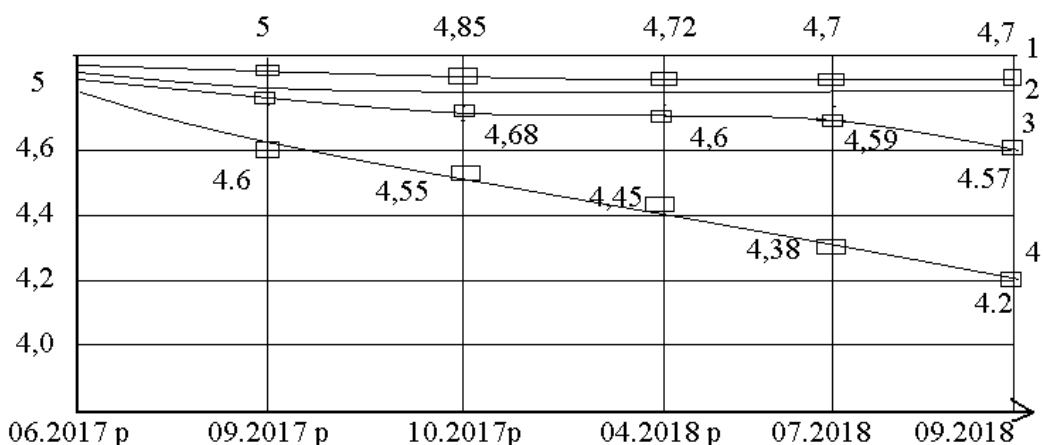


Рис. 8. Зміна бальної оцінки стану покриття із пористого і щільного асфальтобетонів

1,3 – покриття із пористого асфальтобетону в суху, ясну та дощову погоду;  
2,4 – покриття із щільного асфальтобетону в суху, ясну та дощову погоду

Розміщення підп'ятника прогиноміра КП-204 під спареним колесом вантажівки наведено на рис. 9.

За результатами досліджень розраховувався модуль пружності в кожній контрольній точці. Значення модуля пружності на ділянці з покриттям із пористого асфальтобетону знаходяться на одному рівні з ділянкою, де покриття влаштоване зі щільного дрібнозернистого асфальтобетону, що свідчить про достатню міцність шарів дорожнього одягу дослідної ділянки.



а

б

Рис. 9. Визначення міцності дорожнього одягу за допомогою жорсткого штампу від колеса розрахункового автомобіля МАЗ-503 А з використанням важільного прогиноміру КП-204: а – розміщення підп'ятника прогиноміра КП-204 під спареним колесом вантажівки; б – зняття показників приладу після відновлення пружних деформацій

Найнижче значення модуля пружності ( $E=262$  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 %.

Рівність поверхні асфальтобетонного покриття визначалась відразу після закінчення будівництва (липень 2017 р.), навесні (квітень 2018 року) і восени (вересень 2018 року). Вимірювання проводились шляхом визначення просвітів під 3-х метровою рейкою (рис. 10).

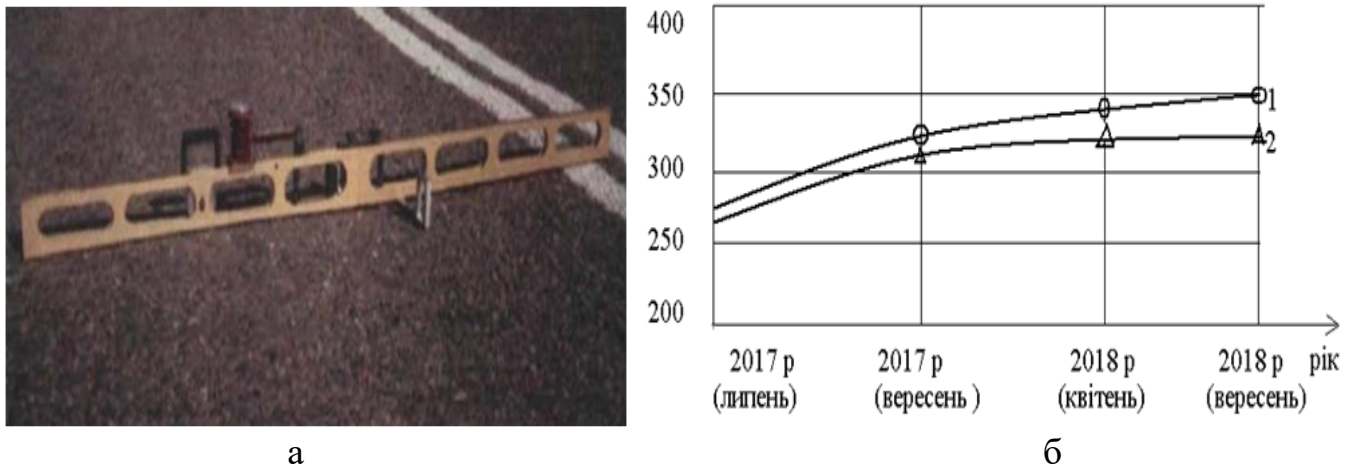


Рис. 10. Вимірювання рівності дорожнього одягу за допомогою трьохметрової рейки: а – трьохметрова рейка; б – зміна рівності покриття за весь період експлуатації

1 – покриття із пористого асфальтобетону; 2 – покриття із щільного дрібнозернистого асфальтобетону

Аналіз результатів вимірювання рівності свідчить, що на ділянці автомобільної дороги Львів-Тернопіль з пористим асфальтобетоном, рівність є вищою, ніж з покриттям із дрібнозернистого асфальтобетону.

Визначення коефіцієнту зчеплення дорожнього покриття дослідної ділянки км 60+500 – км 62+700 автомобільної дороги Львів-Тернопіль, влаштованого із пористого асфальтобетону і контрольної ділянки проводилось маятниковим приладом МП-3. Значення коефіцієнту зчеплення на покритті із пористого асфальтобетону значно вищі, ніж на покритті зі щільного дрібнозернистого асфальтобетону. Це обумовлено його структурою зі збільшеною кількістю щеленевих фракцій і шорсткою поверхнею. Значення коефіцієнта зчеплення на контрольній ділянці є нижчі, ніж на дослідній, але вищі, ніж регламентоване значення 0,3.

Річний економічний ефект від підвищення безпеки руху на досліджуваній ділянці 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 становить 2 роки (при нормативному терміні окупності 8 років).

Результати досліджень використані: Українським державним інститутом по проектуванню об'єктів дорожнього господарства «Укрдїпродор» при проектуванні автомобільних доріг на ділянках з високим ризиком виникнення аквапланування; ТОВ «Євробан-захід» при будівництві та обстеженні дослідної ділянки автомобільної дороги III технічної категорії Львів-Тернопіль, км 60+500 – км

62+700, де верхній шар покриття влаштований із пористого асфальтобетону АСГ Др. П.А- Б.НП.І, а нижній шар покриття – із щільного крупнозернистого асфальтобетону – АСГ Кр. Щ.А. – Б.НП.І. Між верхнім та нижнім шаром покриття укладене базальтове полотно марки ПСБ-Д (просочене), яке виконує функції відведення води, що просочується крізь пори верхнього шару і армування дорожнього одягу; кафедрою реконструкції аеропортів та автошляхів Навчально-наукового інституту аеропортів Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Інноваційні матеріали для будівництва доріг та аеродромів», «Проектування автомобільних доріг», «Дорожні та аеродромні покриття».

## 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 погодно-кліматичних 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/год, 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, щибеневий АСГ. Др. П.А – Б.НП.І. БНД 60/90; базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене); асфальтобетон крупнозернистий; щибенево-піщана суміш ЩПС 40 (оброблена цементом); щибенево-піщана суміш С-5; пісок 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 водо насичення, 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Публікації у наукових фахових виданнях України**

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 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.

4. Ремига Ю.С. Значення комплексного критерію управління ризиками в діяльності транспортних підприємств / Ю.С. Ремига, О.М. Резнік // Вісник Інженерної академії України . – 2017. - №2. – С.191 – 197.

5. 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.

### **Публікації у закордонних наукових періодичних виданнях**

6. Резник А.Н. Проектирование автомобильных дорог на отрезках, подверженных влиянию аквапланирования / А.Н. Резник, А.А. Беятынский // Mokslas – Lietuvos ateitis Science – Future of Lithuania. Vilnius: Lithuania: 2009. – Vol.1, №6. – P. 29 – 32.

### **Публікації у збірниках праць за матеріалами конференцій**

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. 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.

#### **Публікації в інших наукових виданнях**

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.

#### **АНОТАЦІЯ**

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

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

Дисертація присвячена проектуванню автомобільних доріг на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування.

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 транспортно-експлуатаційних показників на ділянках автомобільних доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування – міцності, рівності та коефіцієнта зчеплення.

Удосконалена конструкція дорожнього одягу з улаштуванням верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) між шарами.

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.

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

Отримані нові експериментальні залежності критичної швидкості руху, при якій відбувається виникнення явища аквапланування, від критичної товщини шару води.

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

## АНОТАЦИЯ

**Резник А.Н. Проектирование автомобильных дорог на участках с повышенным уровнем опасности аквапланирования.**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Национальный авиационный университет МОН Украины. – Киев, 2019.

Диссертация посвящена проектированию автомобильных дорог на участках с повышенным уровнем опасности аквапланирования.

Разработан состав пористой асфальтобетонной смеси для устройства верхнего слоя покрытия из пористого асфальтобетона, экспериментально подтверждена оптимальность ее состава и определены физико-механические свойства.

Проведены исследования по определению транспортно-эксплуатационных показателей на участках автомобильных дорог с повышенным уровнем опасности аквапланирования – прочности, ровности и коэффициента сцепления.

Усовершенствована конструкция дорожной одежды с устройством верхнего слоя покрытия из пористого асфальтобетона и базальтового сплошного полотна марки ПСБ-Д (пропитанный) между слоями.

Получила дальнейшее развитие математическая модель предупреждения возникновения явления аквапланирования на участках дорог с асфальтобетонным покрытием с учетом факторов и физических процессов, происходящих на покрытии при наличии слоя воды с определением критической скорости автомобиля по мокрой поверхности.

Усовершенствована математическая модель для оценки влияния неровностей покрытия дороги на скорость аквапланирования с определением зависимостей расстояния и времени всплытия колес от состояния покрытия.

Получены новые экспериментальные зависимости критической скорости движения, при которой происходит возникновение явления аквапланирования от критической толщины слоя воды.

**Ключевые слова:** аквапланирование, пористый асфальтовый бетон, базальтовое сплошное полотно, прочность, дорожная одежда.

## ABSTRACT

**Rieznik O. Designing highways in areas with an increased risk of aquaplaning.**

The dissertation for obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.22.11 - automobile roads and aerodromes. - National Aviation University of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the design of highways in areas with an increased risk of aquaplaning.

The composition of the porous asphalt concrete mixture for the arrangement of the upper layer of the coating from porous asphalt concrete has been developed, the optimality of its composition and the determined physical and mechanical properties have been experimentally confirmed.



Carried out researches on determination of transport and operational indicators on sections of highways with an increased level of aquaplaning hazard - strength, equality and coefficient of clutch.

The design of road clothing with the arrangement of the upper layer of the coating from porous asphalt concrete and the basalt continuous sheet of the CSB-R (soaked) layer between the layers has been improved.

The mathematical model for preventing the occurrence of aquaplaning in road sections with asphalt concrete coatings taking into account the factors and physical processes occurring on the coating in the presence of a water layer with the definition of the critical speed of the car on a wet surface has become further developed. At the same time, in the mathematical 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.

An improved mathematical model for estimating the influence of road surface irregularities on the speed of aquaplaning with the determination of the dependence of the distance and time of throwing wheels from the coating state.

It was investigated that the physicomaterial properties of CSB-R solid basalt canvas fully comply with the requirements of normative documents. This made it possible to use this material to remove excess water from the road structure and to reinforce the top layer of the coating from porous asphalt concrete.

According to the results of calculating the effectiveness of reinforcing a road construction with a coating of porous asphalt concrete with a basalt solid sheet of the mark CSB-R (soaked) revealed that the reinforced road construction increases its durability and reliability by 2.5 times.

On the research site of the Lviv-Ternopil motorway (km 60 + 500 - km 62 + 700), the leveling depth measurements of the water layer depth on the coating and measurements of the speeds of different types of vehicles have been carried out. It is confirmed that the actual water distribution curve on the coating is subject to the law of normal distribution.

New experimental dependences of the critical speed of motion, in which the occurrence of the aquaplaning phenomenon occurs, is obtained from the critical thickness of the water layer.

**Key words:** aquaplaning, porous asphalt concrete, basalt continuous sheet, strength, road wear.