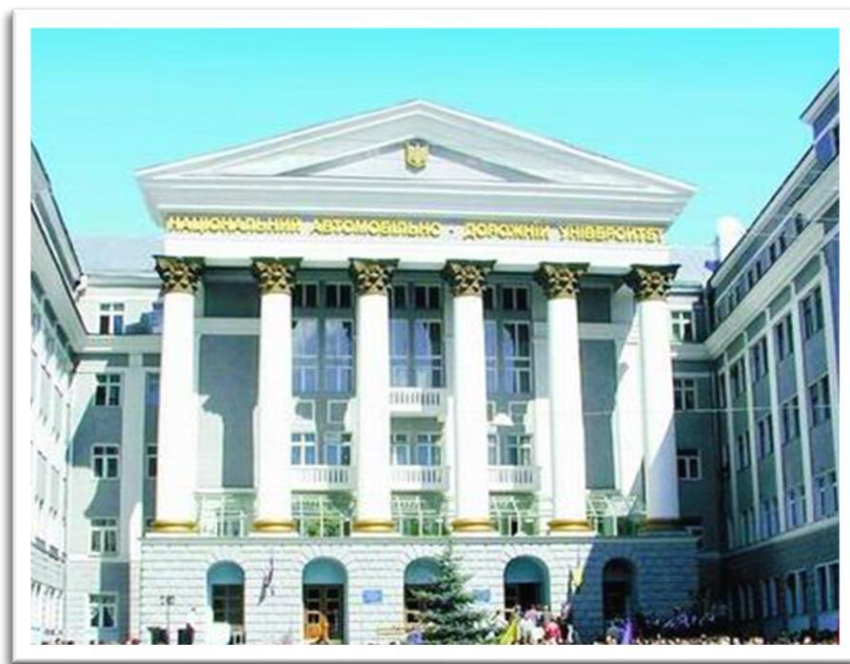


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ХАРКІВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



## Секція «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»

Збірник наукових праць  
88-ї міжнародної наукової конференції студентів університету  
30 березня – 03 квітня 2026 року



Харків 2026

*Міністерство освіти і науки України*  
*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

***Секція***

***«Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»***

**Збірник наукових праць**

**88-ї міжнародної наукової конференції студентів університету**

**30 березня – 03 квітня 2026 року**

**Харків 2026**

Редакційна колегія

Р.В. Смолянюк – к.т.н., професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля

А.В. Сєдов – к.т.н., доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля

І.В. Кіяшко – к.т.н., професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля

**Секція «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»** Збірник наукових праць 88-ї міжнародної наукової конференції студентів університету (30 березня – 03 квітня 2026 року)/ ХНАДУ. Харків, 2026. – 129 с.

Розглянуті актуальні питання будівництва та експлуатації автомобільних доріг, технологічні аспекти виконання робіт, впровадження нових дорожньо-будівельних матеріалів та методів визначення транспортно-експлуатаційних показників, підвищення безпеки дорожнього руху.

*За зміст і достовірність опублікованих в збірнику статей відповідальність несуть автори представлених матеріалів.*

## ЗМІСТ

<i>Анахіна І. О., Смолянук Р. В.</i> Прогнозування стану доріг в умовах недофінансування робіт з експлуатації.....	6
<i>Білан А.О., Ліщенко Д.В., Догадайло О.О., Догадайло Я.В.</i> Аналіз стану захисту автомобільних доріг України від снігових заметів.....	12
<i>Білошниченко В.В., Костін Д.Ю.</i> Переваги та недоліки використання щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах покриття дорожніх одягів.....	16
<i>Бочарніков Є. І., Мищенко Д.С, Сєдов А.В.</i> Аналіз факторів, що впливають на процеси руйнування дорожніх покриттів нежорсткого типу.....	19
<i>Васильченко Є.О., Воловик О.О.</i> Щодо методики контролю міцності покриття підлоги у приміщенні виробничої будівлі залежно від дотримання технологічної послідовності виконання робіт.....	24
<i>Веретельникова Ю.Ю., Яреценко Н.В.</i> Перспективи використання технології cold recycling при капітальному ремонті автомобільних доріг.....	29
<i>Воронін О.М., Тетера В.С.</i> Використання зношених автомобільних шин у дорожньому будівництві.....	33
<i>Гойденко С.О, Яреценко Н.В.</i> Інноваційні технології будівництва автомобільних доріг як основа сталого розвитку транспортної інфраструктури.....	37
<i>Горбань С.А., Костін Д.Ю.</i> Технологія холодного ресайклінгу в дорожньому будівництві .....	41
<i>Євдокименко Б.А., Фоменко О.О.</i> Аналіз впливу і взаємодії різноманітних факторів на міцні характеристики дорожньої конструкції.....	44
<i>Зелінський О.В., Кіяшко І.В.</i> Деякі аспекти впровадження ресурсозберігаючих будівельних технологій.....	48
<i>Зінченко Б. С., Аринушкіна О. О.</i> Застосування технології литих емульсійно-мінеральних сумішей під час будівництва автомобільних доріг.....	51
<i>Кияненко М.В., Тетера В.С.</i> Аналіз технології WARM MIX ASPHALT (WMA), як альтернатива HOT MIX ASPHALT (HMA).....	55
<i>Клименко Р.М., Левандовський А. М., Сєдов А.В.</i> Ремонт і відновлення асфальтобетонних покриттів за допомогою регенерації.....	59

<i>Костюк І.Ю., Покаместов М.Ю., Арінушкіна Н.С.</i> Сучасна геосинтетика для укріплення укосів насипів земляного полотна.....	<b>63</b>
<i>Лебідь А.А., Явтуховська І.О., Арінушкіна Н.С.</i> Історичні передумови появи дорожньої розмітки в системі забезпечення безпеки дорожнього руху.....	<b>67</b>
<i>Мазур Б. С., Фоменко О.О.</i> Деформації і руйнування земляного полотна..	<b>71</b>
<i>Марченков О. А., Лебідь В. О., Седов А.В.</i> Вплив транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття міських вулиць на безпеку руху.....	<b>75</b>
<i>Моїсеєв О. В., Остапенко В. В. , Фоменко О.О.</i> Використання георешіток при будівництві та реконструкції транспортних об'єктів.....	<b>81</b>
<i>Неупокоєва М.Р., Костін Д.Ю.</i> Дослідження ефективності застосування геосинтетичних матеріалів при будівництві земляного полотна автомобільних доріг.....	<b>86</b>
<i>Олійник Д.О., Догадайло Я.В.</i> Багатокритеріальний аналіз різних видів тимчасових засобів снігозатримання.....	<b>91</b>
<i>Онуфрієв В. Є., Смолянюк Р. В.</i> Технології моделювання та візуалізації процесів випробування дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів.....	<b>97</b>
<i>Полянська А. М., Арінушкіна О.О.</i> Технологічні аспекти застосування щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом для будівництва шарів дорожнього одягу.....	<b>101</b>
<i>Саркісов М.Г., Саркісов С.Є.,Ярещенко Н.В.</i> Дороги з переробленого пластику: досвід нідерландів та інших країн.....	<b>104</b>
<i>Скакун О.В., Кіяшко І.В.</i> Вплив водно-теплого режиму на експлуатаційні властивості дорожньої конструкції.....	<b>111</b>
<i>Смолянюк Р.В., Мачула В.І.</i> Прогнозування рівності покриття автомобільної дороги після виконання ремонтних робіт.....	<b>114</b>
<i>Смолянюк Р.В., Халін С.М., Халін О.М.</i> Сучасні підходи до детектування дорожніх об'єктів і визначення їх технічного стану.....	<b>119</b>
<i>Стрембіцький В.Б., Кіяшко І.В.</i> Сучасний підхід щодо впровадження технологій рекультиваційних робіт на відвальних територіях .....	<b>123</b>
<i>Цикал Д. В., Фоменко О.О.</i> Механіка роботи геосинтетичних матеріалів..	<b>125</b>

# ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОРІГ В УМОВАХ НЕДОФІНАНСУВАННЯ РОБІТ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Анахіна Ірина Олександрівна, гр. Д-51-25*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

*Науковий керівник – Смолянчук Роман Володимирович, к.т.н., доц.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

На сьогодні дорожня інфраструктура України перебуває у стані «критичного зносу». Згідно з аналітичним звітом Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України, станом на початок 2026 року понад 85 % мережі автомобільних доріг загального користування потребують невідкладного капітального або середнього ремонту [1]. Ця проблема давно вийшла за межі суто економічної площини: хронічне недофінансування галузі трансформувалося у реальну загрозу національній безпеці, що підриває логістичну стійкість держави в умовах воєнного стану та блокує ефективне функціонування стратегічних транспортних коридорів.

За оцінками експертів Світового банку та профільних науково-дослідних інститутів (зокрема ДП «ДерждорНДІ»), систематичне недотримання міжремонтних термінів призвело до критичної втрати несучої здатності основи на ключових ділянках опорної мережі [2]. В умовах, коли обсяги фінансування покривають лише 10–12 % від нормативної потреби, традиційні стратегії експлуатації стають неефективними. Це зумовлює гостру необхідність розробки нових підходів до прогнозування стану доріг, які дозволять мінімізувати темпи деградації мережі навіть за екстремального дефіциту ресурсів.

Практичне підтвердження цих теоретичних висновків ми спостерігаємо на прикладі дорожньої мережі Харківської області у березневий період 2026 року. Зокрема, критична ситуація склалася на автошляху Р-51 у напрямку Харків — Лозова — Павлоград. За даними Служби відновлення та розвитку інфраструктури у Харківській області, понад 70% доріг регіону вже давно вичерпали свої міжремонтні терміни, а деякі ділянки не бачили капітального оновлення ще з 80-х років минулого століття [3]. Через поєднання аномальних температурних коливань поточної зими та інтенсивного руху великовагового транспорту, час подолання ділянки на Лозову збільшився утричі: з нормативних 20 хвилин до понад однієї години. Таке стрімке падіння середньої швидкості потоку свідчить про повну вичерпаність несучої здатності покриття, де ямковий ремонт уже не здатний забезпечити безпеку руху.

Наведені нижче авторські фотоматеріали (рис. 1) наочно демонструють стадію «глибокої деградації», де глибина окремих вибоїн сягає 15–20 см. Це візуалізує модель «експоненціального зносу»: коли при досягненні певного порогу руйнувань темпи подальшого розпаду прискорюються у декілька разів щомісяця. В умовах, коли поточне фінансування утримання доріг області покриває лише 15 % від потреби [4], виникає ситуація «логістичного колапсу». Експлуатаційні витрати власників автотранспорту зростають через знос ходової

частини та збільшення витрат пального, що фактично формує прихований економічний борг перед інфраструктурою. Прогнозування за таких умов має базуватися на моделях, які враховують «точку невороття» — момент, після якого дорога потребує не утримання, а повної реконструкції, що є у 6-10 разів дорожчим.



Рисунок 1 – Стан дороги М-03 станом на 2026 рік

Причини такої деградації мають комплексний характер: фахівці зазначають, що критичний стан полотна зумовлений поєднанням аномальних циклів заморожування та відсутністю своєчасних герметизуючих робіт у попередні сезони. Волога, що потрапляє у неліквідовані через дефіцит коштів мікротріщини, під час морозів руйнує асфальтобетон зсередини, а ситуацію посилюють наднормативні навантаження на вісь через зміну логістичних маршрутів [5]. Це формує «замкнене коло», де поганий стан доріг гальмує економіку та зменшує надходження до дорожнього фонду, перетворюючи кожен зекономлений сьогодні мільйон на експлуатації у майбутні збитки в розмірі 7–12 мільйонів гривень на повну реконструкцію.

Зібравши та систематизувавши актуальні дані щодо фактичного стану мережі, автором було побудовано серію прогнозних графічних моделей (рис. 1–3). Даний комплексний прогноз базується на аналізі інтенсивності руху та темпів деградації типових конструкцій дорожнього одягу в умовах гострого дефіциту ресурсів на різних часових горизонтах: від поточного сезону до стратегічної перспективи у 15 років.

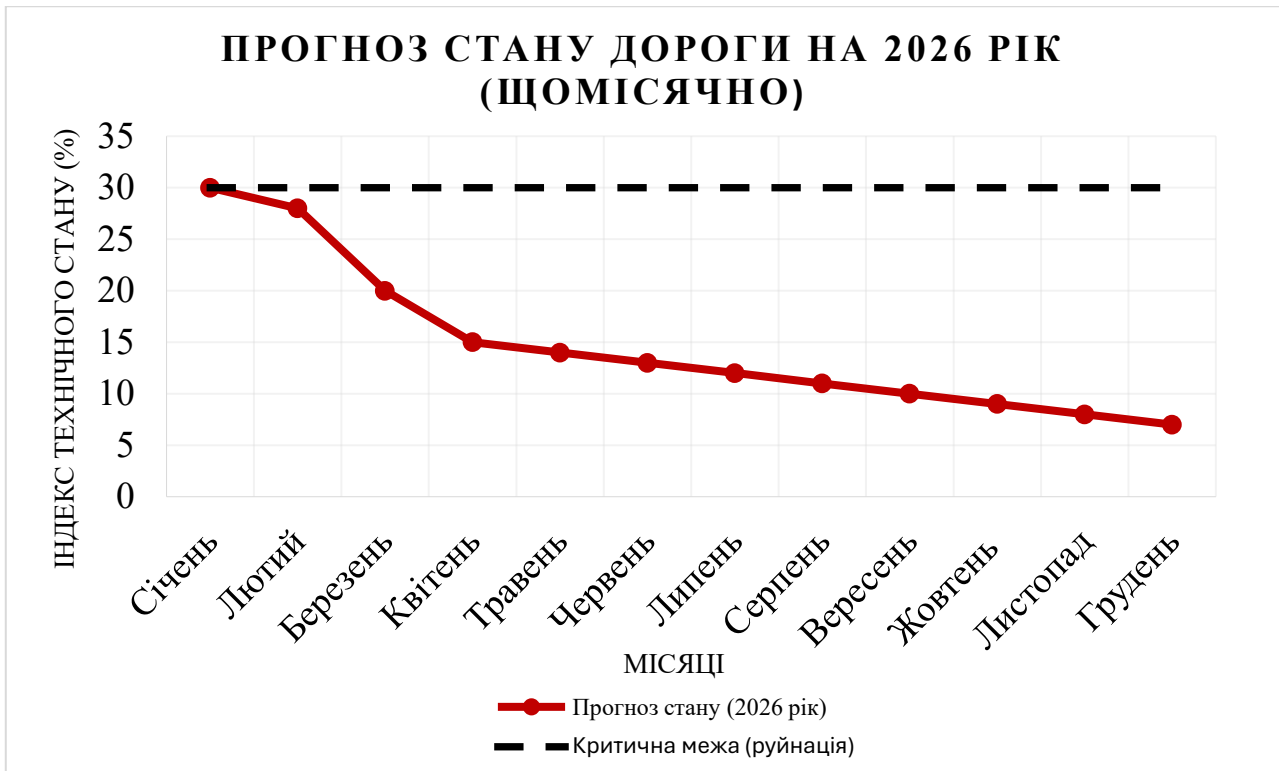


Рисунок 2 – Короткостроковий прогноз на 2026 рік: динаміка «весняного піку» руйнувань

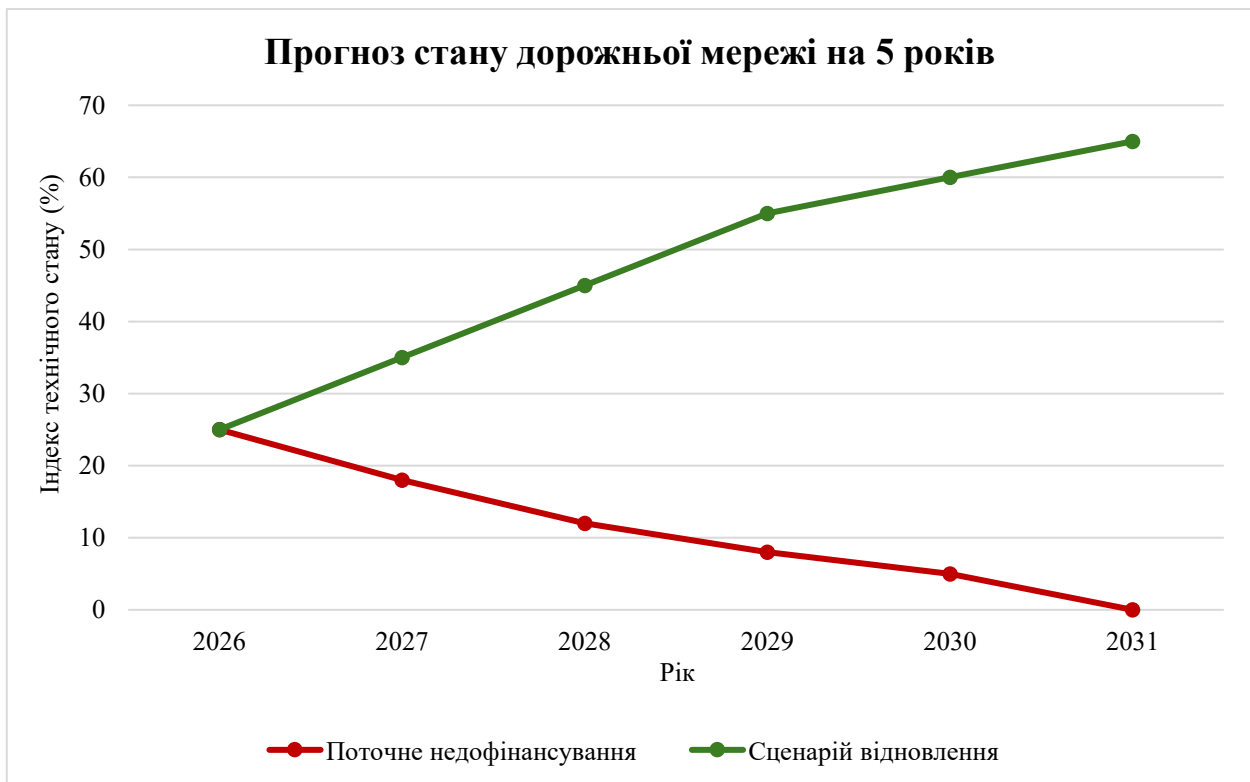


Рисунок 3 – Середньостроковий прогноз на 5 років: порівняння сценаріїв фінансування та точка критичного зносу



Рисунок 4 – Стратегічний прогноз на 15 років: циклічність витрат та обґрунтування превентивного утримання

Аналіз представлених моделей підтверджує, що при рівні фінансування менше 30 % швидкість розпаду покриття зростає експоненціально вже у січні-лютому поточного року (рис. 2). Варто зазначити, що у межах даного дослідження за нашими припущеннями було обрано критичну точку стану на рівні 30 %, яка є індикатором переходу дороги у фазу незворотної руйнації. Математичне моделювання на 5 років (рис. 3) чітко вказує на «точку невороття», після якої відновлення експлуатаційних показників потребує капітальних інвестицій, що неспівмірні з вартістю поточного догляду. Нарешті, стратегічний прогноз (рис. 4) графічно доводить, що відсутність щорічної герметизації тріщин та влаштування захисних шарів змушує бюджет кожні 7–8 років нести збитки, які у 10 разів перевищують витрати на превентивні заходи. Таким чином, результати моделювання свідчать: економія на експлуатації сьогодні є найбільш марнотратним шляхом розвитку дорожньої галузі.

Для того щоб змінити песимістичний сценарій деградації та спрямувати прогнозні криві у позитивний бік, необхідно докорінно переглянути стратегію управління дорожнім господарством. Першочерговим кроком має стати впровадження жорсткої пріоритезації за критерієм «життєвої важливості» маршрутів. В умовах дефіциту ресурсів фінансування повинно спрямовуватися не на ті ділянки, що знаходяться у найгіршому стані, а на стратегічно важливі логістичні коридори, які забезпечують експорт, гуманітарні перевезення та військову стійкість. Такий підхід дозволить зберегти опорну мережу від

проходження «точки невороття» та забезпечить стабільне функціонування економіки навіть за обмежених інвестицій.

Паралельно з управлінськими змінами, технологічний акцент має зміститися у бік «швидкої консервації» дорожнього полотна. Замість капітальних ремонтів, на які наразі бракує коштів, необхідно масово впроваджувати превентивні методи, такі як герметизація тріщин та влаштування тонкошарових захисних покриттів типу Slurry Seal. Це у 5-7 разів дешевше за традиційне відновлення і дозволяє ефективно зупинити потрапляння вологи в основу дороги, що є головною причиною руйнувань навесні. Крім того, критично важливим є розширення мережі систем автоматичного зважування в русі (WIM), оскільки без жорсткого контролю за наднормативними навантаженнями фур будь-які ремонтні зусилля будуть нівельовані протягом одного сезону.

Незважаючи на складні виклики, станом на березень 2026 року в Україні вже реалізується низка заходів для стабілізації галузі. Згідно з постановою Уряду про розподіл коштів Державного дорожнього фонду, на поточний рік виділено близько 6,8 млрд грн на експлуатаційне утримання [6]. Хоча ці обсяги не покривають нормативну потребу, вони дозволяють підтримувати проїзд на критичних вузлах та мостових спорудах. Додатково залучаються грантові кошти від міжнародних фінансових інституцій, зокрема Світового банку, у розмірі понад 200 млн доларів, що цільово спрямовуються на відновлення зруйнованої логістики східних регіонів [7]. Це дає змогу Службам відновлення проводити не лише аварійний ремонт, а й працювати над захистом об'єктів інфраструктури від можливих пошкоджень.

Підсумовуючи проведені дослідження, варто зазначити, що прогнозування стану доріг в умовах недофінансування — це не лише математична задача, а питання стратегічного виживання транспортної системи. Авторські моделі наочно підтвердили: відсутність інвестицій у превентивне утримання сьогодні обернеться багатократними збитками вже у найближчому майбутньому. Впровадження ризикоорієнтованого підходу та адаптація інженерних рішень до реалій 2026 року є єдиним шляхом збереження цілісності дорожньої мережі України. Тільки поєднання точного прогнозування та оперативних консерваційних заходів дозволить вийти із «замкненого кола» інфраструктурної деградації та забезпечити надійну основу для майбутньої повної відбудови країни.

## Література

1. Звіт про стан дорожнього господарства та стратегічні напрями відновлення транспортних мереж у 2025–2026 рр. Агентство відновлення : веб-сайт. URL: <https://restoration.gov.ua/> (Дата звернення 10.03.2026).
2. Науково-технічний супровід та моніторинг стану об'єктів транспортної інфраструктури в умовах воєнного стану: Аналітичний огляд інституту. Київ: ДерждорНДІ, 2025. 42 с.
3. Оперативний звіт щодо стану дорожнього покриття та міжремонтних термінів на магістралях Р-51 та Т-2104. Служба відновлення та розвитку інфраструктури у Харківській області : веб-сайт. URL: <https://kh.restoration.gov.ua/> (Дата звернення 14.03.2026).

4. Критичний стан дорожньої мережі Сходу України: потреби фінансування експлуатаційного утримання на 2026 рік. Економічна правда : веб-сайт. URL: [https://epravda.com.ua/publications/2026/02/15/road\\_crisis\\_kharkiv/](https://epravda.com.ua/publications/2026/02/15/road_crisis_kharkiv/) (Дата звернення 14.03.2026).

5. Не лише морози: експерт пояснив, чому насправді руйнуються українські дороги у 2026 році та як цьому запобігти. РБК-Україна : веб-сайт. URL: [https://www.rbc.ua/ukr/news/lishe-morozi-ekspert-poyasniv-chomu-naspravdi-1772797961.html](https://www.rbc.ua/ukr/news/lishe-morozi-ekspert-poyasniv-chomu-naspravdi-ruynuyutsya-ukrayinski-dorogi-u-2026-roci-ta-yak-cьomu-zapobigti) (Дата звернення 15.03.2026).

6. Постанова про розподіл коштів державного дорожнього фонду на 2026 рік. Кабінет Міністрів України : веб-сайт. URL: <https://www.kmu.gov.ua/> (Дата звернення 18.03.2026).

7. Пріоритети відновлення транспортної мережі в умовах обмеженого фінансування: звіт за I квартал 2026 року. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України : веб-сайт. URL: <https://mtu.gov.ua/> (Дата звернення 18.03.2026).

# АНАЛІЗ СТАНУ ЗАХИСТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ ВІД СНІГОВИХ ЗАМЕТІВ

*Білан А.О., ст. групи Д-46-22; Ліщенко Д.В., ст. групи Д-47-22  
[reptiloid0118@gmail.com](mailto:reptiloid0118@gmail.com); [d121ayv@stud.khadi.kharkov.ua](mailto:d121ayv@stud.khadi.kharkov.ua)  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
наукові керівники: Догадайло О.О., к.т.н., доцент;  
Догадайло Я.В., к.е.н., доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Практика снігоборотьби на мережі автомобільних доріг розпочала формуватися фактично із перших днів її існування. В ході розвитку автомобільного транспорту методи боротьби зі сніговими заметами безперервно вдосконалювалися: застарілі підходи відживали, а нові, більш прогресивні, виникали та розвивалися відповідно до змін умов перевізного процесу. Тобто засоби та методи снігоборотьби завжди знаходяться під прямим впливом умов експлуатації доріг та технологічного прогресу [1].

На сучасному етапі актуальною залишається проблема забезпечення ефективної снігоборотьби на автомобільних дорогах. Більшість конструкцій снігозахисних лісосмуг, що традиційно створюються вздовж автомобільних магістралей, не відповідають існуючим нормативним вимогам щодо ефективності. Це пов'язано з тим, що їхнє повноцінне влаштування вимагає значної ширини смуги відведення, що часто є економічно та територіально необґрунтованим. Натомість, на залізничному транспорті ситуація виглядає іншим чином: для створення та обслуговування лісосмуг, як правило, відводяться більш значні території. Візуальна різниця у просторовому розміщенні лісосмуг вздовж залізниць та автомобільних доріг представлена на рисунку.



1 – лісосмуги Південно-Західної залізниці; 2 – лісосмуги автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський

Рисунок 1 – Порівняння лісосмуг автомобільної дороги та залізниці

Снігопади, вітер та викликані ними снігові замети створюють серйозну загрозу безпеці та ефективності руху автомобілів. Сніговий покрив, потрапляючи на дорожнє полотно, спричиняє низку негативних наслідків: формування додаткового опору руху транспортних засобів; збільшення витрати палива; значне зниження швидкості транспортного потоку; зростання ризику дорожньо-транспортних пригод (ДТП), головним чином через погіршення видимості. Усі ці фактори ускладнюють експлуатаційну роботу ділянок, що піддаються сніговим заметам.

На значній протяжності автомобільних доріг України ефективність існуючих снігозахисних насаджень є незадовільною. Ці насадження не лише не виконують свою основну функцію (захист доріг від заметів), але й нерідко сприяють утворенню снігових відкладень безпосередньо на проїзній частині. Така ситуація обумовлена двома ключовими факторами: близьке розташування насаджень до дороги; недостатня потужність (ширина) цих смуг. Основна причина цього криється в тому, що існуюча ширина смуги відведення дороги є меншою, ніж мінімально необхідна для влаштування типових снігозахисних насаджень потрібної конструкції та ефективності. Ця проблема залишається невирішеною на даний час в Україні, через що проектування нових або реконструкція існуючих лісосмуг відповідно до чинних нормативів [2, 3] є фактично неможливим або вкрай ускладненим.

Незважаючи на величезний досвід удосконалення способів, засобів та методів снігозахисту, проблема снігових заносів доріг все ще залишається актуальною. Як вже зазначалося, більшість конструкцій снігозахисних лісосмуг, створених уздовж автомобільних доріг, не відповідають чинним нормам. Це обумовлено тим, що для їхнього повноцінного влаштування потрібна значна ширина смуги відведення, отримати яку є вкрай проблематично. Землі під смугу відведення часто неохоче надаються сільськогосподарськими власниками, що створює земельно-правове обмеження для ефективного проектування. Крім того, потужність снігозахисних насаджень часто не пов'язана із напрямком дороги (її орієнтацією), від якого значною мірою залежить обсяг снігоприносу. Потужність насаджень залишається незмінною по всій довжині магістралі. У результаті для низки ділянок доріг снігозахист виявляється надмірно потужним (неекономічним), а для інших ділянок його снігоємність є недостатньою, що призводить до регулярних заметів автомобільних доріг.

Оскільки довжина заносимих ділянок є досить значною, питання пошуку більш ефективних і, водночас, економічних засобів снігозахисту, на основі правильного та диференційованого визначення обсягів снігоприносу, має надзвичайно велике значення для транспортної галузі [4, 5].

Існують й інші способи захисту доріг від снігових заметів. Одним із таких методів є підхід, що передбачає не затримання снігу перед дорогою, а забезпечення його безперешкодного перенесення (транзиту) через неї. Для реалізації цього принципу достатньо влаштувати високий дорожній насип. Як відомо з аеродинаміки, високий насип перегороджує шлях повітряному потоку, змушуючи його перевалювати через перешкоду. При цьому відбувається

звуження перетину повітряного потоку безпосередньо над вершиною насипу, що спричиняє підвищення швидкості вітру у цій зоні (ефект Вентурі). Внаслідок цього сніг не випадає з потоку та не відкладається на проїзній частині, а транспортується через дорогу. Чим вище насип, тим більша швидкість повітряного потоку, що його огинає, і тим менша ймовірність утворення замету. Однак, цей метод має значні обмеження: географічні обмеження: не завжди можливо прокласти дорогу виключно по насипу, оскільки рельєф земної поверхні часто вимагає влаштування виїмок у височинах; експлуатаційні обмеження: якщо говорити про захист доріг на стадії їхньої експлуатації, цей метод є недоречним, оскільки він вимагає глобальної реконструкції автомобільної дороги та приведення висоти насипу до розрахункових значень, що забезпечують безперешкодне проходження вітрового потоку.

На ділянках доріг, де неможливо запроектувати постійний снігозахист, необхідно застосовувати тимчасові засоби снігозатримання [1, 2].

Один з поширених способів боротьби – захист дороги від переносимого хуртовиною снігу. Сутність такого способу полягає в тому, щоб пропустити до дороги тільки вітер, а сніг, що переноситься вітром, змусити випасти з хуртовинного потоку задалегідь, на підході до дороги, в тому місці, де він для неї безпечний. Для цього використовують явище, яке викликає утворення снігових заметів – зниження швидкості хуртовинного потоку. На шляху потоку на деякій відстані від дороги ставлять перепону, наприклад, з ґратчастих щитів. Дійшовши до перепони, потік прагне обігнути її, а також проникнути через просвіти решітки. Якщо щитовий ряд довгий, то струни потоку перевалюють через щити. Потім, опускаючись до землі, струменя завихрюватися назад, назустріч руху потоку, і стикаються зі струменями, які пройшли через просвіти решітки. Завихрення у щитів і зіткнення струменів гальмують потік, знижують його швидкість, завдяки чому сніг випадає і відкладається біля щитів. А потік, звільнений від основної частини переносимого снігу і нешкідливий для дороги, прямує далі і перевалює через дорожнє полотно, не утворюючи відкладень [6].

Економічні збитки, спричинені зупинкою руху, можуть перевищувати витрати на комплексний снігозахист у десятки разів. Ця проблема є особливо актуальною для автомобільних доріг вищих категорій, що характеризуються високою інтенсивністю руху. Крім прямих економічних втрат, автомобілі, що потрапили до снігової пастки (у сніговий полон), також суттєво перешкоджають дорожній службі та спеціалізованій техніці здійснювати своєчасне очищення доріг від снігових заметів. В результаті ситуація набуває зворотного зв'язку, де відсутність захисту ускладнює подальшу ліквідацію наслідків. Тому забезпечити безперебійний рух автомобілів під час хуртовин можна лише у разі створення надійного снігозахисту дороги. На підтвердження економічної доцільності можна зазначити, що відомий дослідник Р.Д. Таблер [5] дійшов висновку, що вартість очищення снігових заметів є приблизно в 100 разів вищою, ніж витрати на встановлення ефективної снігозатримувальної огорожі.

Таким чином, питання снігозахисту автомобільних доріг наразі потребує невідкладного розв'язання, адже наслідки неналежної організації захисних

заходів в Україні є досить критичними. Ефективний снігозахист є не лише інженерно-економічним, але й питанням національної безпеки та збереження життя громадян. Через недостатній рівень снігозахисту або його повну відсутність суттєво зростає аварійність на автошляхах. Основними причинами цього є різке погіршення видимості та утворення постійних переметів і снігових відкладень безпосередньо на проїзній частині, що блокує рух транспорту. У разі повної зупинки трафіку виникає пряма загроза життю людей через ризик переохолодження, що часто спричинено несвоєчасною реакцією служб та відсутністю надійних захисних споруд. Економічні втрати від простою транспорту можуть у десятки разів перевищувати витрати на створення системи снігозахисту, що особливо критично для магістралей із високою інтенсивністю руху. До того ж, заблоковані у снігових пастках автомобілі значно ускладнюють роботу дорожньої техніки з очищення полотна. Резюмуючи, можна стверджувати, що гарантування безперебійного та безпечного курсування автотранспорту в період тривалих хуртовин можливе виключно за умови функціонування комплексної та надійної системи інженерного снігозахисту. Система має забезпечувати оптимальні умови руху транспорту, максимально спрощувати та знижувати вартість виконання робіт, гарантуючи при цьому дотримання Цілей сталого розвитку [7,8].

#### Література.

1. Handbook of snow: principles, processes, management and practical use / Gray D. M., Male D. H., Eds. New York : Pergamon Press, 1981. 751 p.
2. Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг : ДСТУ 9185:2022. [Чинний від 2023–09–01]. Київ : УкрНДНЦ, 2023. 82 с.
3. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ, Харків : ХНАДУ, Українське державне виробничо-технологічне підприємство «Укрдортехнологія» та інші, 2009. 258 с.
4. Догадайко О.О. Досвід розроблення пропозицій щодо постійного снігозахисту під час реконструкції автомобільної дороги. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. Вип.86. С. 121-129.
5. Tabler R.D. The Mechanical Control of Blowing Snow. Laramie : Tabler & Associates, 1991. 265 p.
6. Bagnold R.A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London : Methuen & Co, 1941. 265 p.
7. Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ від 30 вер. 2019 р. №722. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 28.03.2026)
8. 17 Goals to Transform Our World. *Sustainable Development Goals* : Web site. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (Last accessed: 28.03.2026).

# **ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ В ШАРАХ ПОКРИТТЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ**

*Білошніченко В.В., ст. групи Д-43-20,*

*[vladokknmt@gmail.com](mailto:vladokknmt@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Костін Д.Ю., к.т.н., доцент*

*[dmitric2008@gmail.com](mailto:dmitric2008@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Щорічне зростання інтенсивності руху і долі багатотоннажних транспортних засобів в транспортному потоці вимагає будівництва довговічніших конструкцій дорожнього одягу. Міжнародний досвід будівництва автомобільних доріг показує [1-5], що одним з основних напрямів рішення цієї задачі є застосування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей для влаштування верхніх шарів покриттів дорожнього одягу. Завдяки використанню вказаних сумішей для будівництва шарів дорожніх покривів забезпечується висока стійкість до накопичення залишкових деформацій у вигляді колії при високих температурах, а також тривала водостійкість і морозостійкість. Дорожні покриття з щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) мають більш високу стійкість до стираючої дії шин, в порівнянні із звичайним дрібнозернистим асфальтобетоном. Високий вміст в ЩМА асфальтов'язучої речовини сприяє "самозалікуванню" тріщин в покритті при русі транспортних засобів. Наявність у складі ЩМА волокнистої стабілізуючої добавки запобігає її розшаруванню в процесі завантаження в транспортні засоби, при транспортуванні, укладанні в покриття і ущільненні.

Сформована зернами кубовидного щебеня каркасна структура забезпечує підвищену зсувостійкість покриття, в порівнянні з традиційним асфальтобетоном. Відомо також [5-6], що одним з ефективних способів підвищення якості нафтових дорожніх бітумів і, відповідно, асфальтобетону на їх основі, являється введення до їх складу різних модифікуючих добавок (полімери, латекси, поверхнево-активні речовини, низькомолекулярні модифікатори). Вказані модифікуючі добавки до бітумів забезпечують ним підвищену теплостійкість і адгезійну активність по відношенню до поверхні мінеральних складових асфальтобетонних сумішей, що істотно відбивається на корозійній стійкості щебенево-мастичних асфальтобетонних покриттів в процесі експлуатації, особливо в умовах використання матеріалів протиожезедних для боротьби із зимовою слизькістю. Безумовно, основною умовою створення довговічного покриття дорожнього одягу з ЩМА, являється використання високоякісних складових щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей і відповідності усіх технологічних режимів їх приготування нормативним вимогам.

В останнє десятиліття в Україні об'єми будівництва верхніх шарів покриттів дорожнього одягу з ЩМА постійно зростають. Результати моніторингу щебенево-мастичних асфальтобетонних покриттів дорожнього одягу, експлуатованого в кліматичних умовах України, свідчать [9] про підвищену їх стійкість до утворення колії, а також накопичення інших видів деформацій і руйнувань.

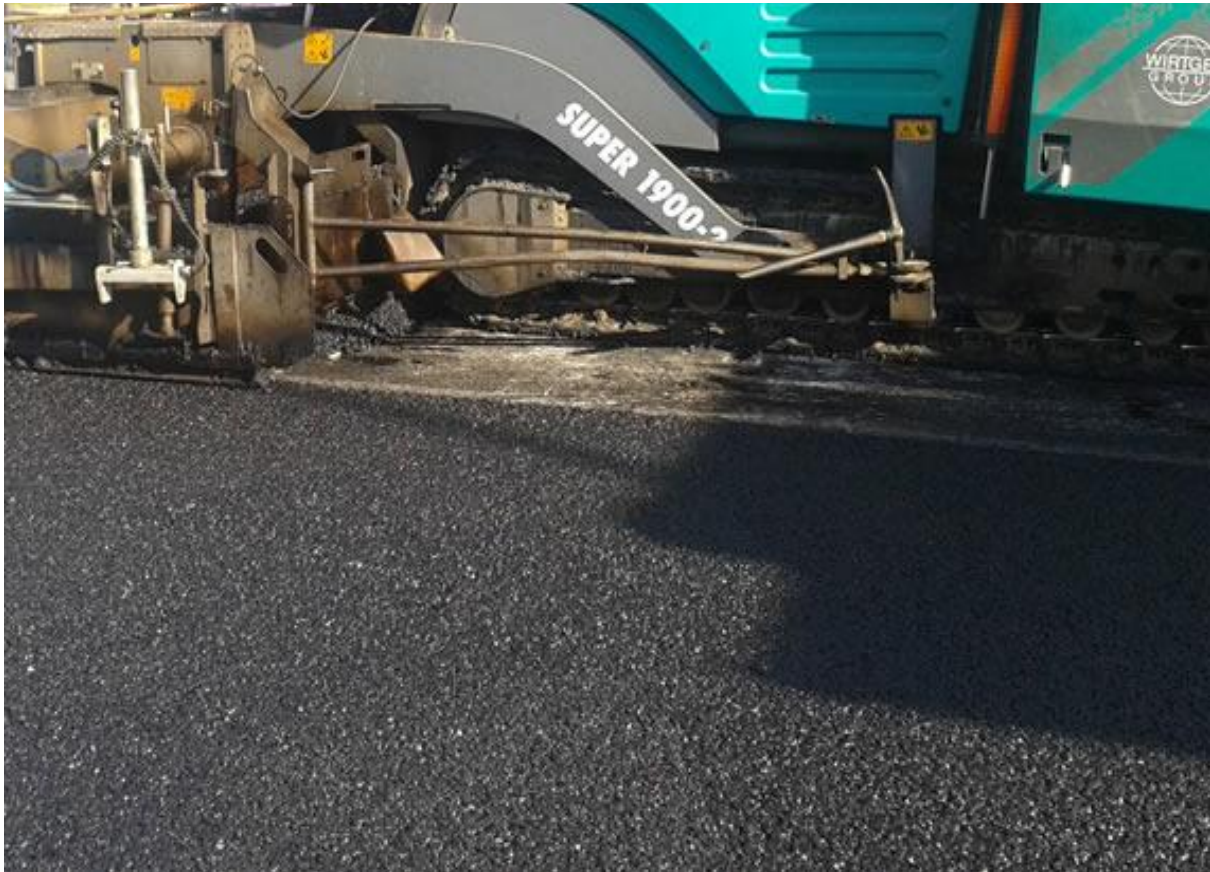


Рисунок 1 – Влаштування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття

До основних недоліків використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей можна віднести:

- високу вартість через використання великої кількості високоякісного щебеню, підвищений вміст мінерального порошку, як правило дорогого модифікованого бітуму та наявність целюлозних добавок (стабілізаторів), що суттєво підвищує ціну матеріалу;

- більш складна технологія укладання, в порівнянні з традиційними гарячими асфальтобетонними сумішами, яка потребує в першу чергу суворого дотримання температурного режиму. Якщо суміш охолоне, її майже неможливо якісно ущільнити;

- ризик "випотівання" бітуму на поверхні шару покриття. При помилках у дозуванні стабілізуючих добавок надлишок бітуму може виходити на поверхню, роблячи дорогу слизькою.

– тривалий час стабілізації стану покриття. Нове покриття іноді потребує певного часу (або обробки піском), щоб зникла тонка бітумна плівка, яка на початковому періоді експлуатації може знижувати зчеплення.

Висновок: Щебенево-мастиковий асфальтобетон – це ідеальне рішення для магістралей та міських вулиць із великим навантаженням, де початкові високі витрати компенсуються рідшим ремонтом. Моніторинг дорожніх об'єктів в Україні підтверджує, що попри складність та дорожнечу, ЩМА є оптимальним рішенням для магістралей з високою інтенсивністю руху, оскільки значно подовжує міжремонтні терміни.

### Література

1. Florczyk G., Kaczycka J., Grabowski W. Doswiadczenia w zastosowaniu mieszanek mineralno - bitumicznych o zwiekszonej odpornosci na odkształcenia trwale oraz mieszanek SMA typu "A" i "B" // I International Conference "Modern Technologies in Highway Engineering", Poznan.- 1998.- p. 74-81.

2. Vladimir A. Verenko, Vitaly V. Zankovich Osobliwosci oceny jakosci mieszanek SMA na Bialorusi // IX International Conference "Durable and Safe rjad pavements". - Kielce, Poland. - 2003. - p. 395-403.

3. Marek Iwanski Szorstkosc nawierzchni w aspekcie uziarnienia mieszanki matyksowa grysowej SMA // X International Conference "Durable and Safe rjad pavements" .- Kielce, Poland.- 2004.- p. 51-58.

4. Sybilski D., Szczepaniak Z. Beton asfaltowy modyfikowany kopolimerem SBS // Prace Instytutu Badawczego Drog i Mostow.- 1992.- №1.- s. 5-28.

5. Вирожемський В.К., Міщенко М.Л., Катюкова В.М. Моніторинг покриття ділянок автомобільних доріг, побудованих із щебенево-мастикового асфальтобетону // Автошляховик України. - 2008. - №3. - С.37-38.

6. Rolli S. Nawerzhnie drogowe i lotniskowe. Ostroznosc w interpretacji wynkow badania koleinowania w aparacie francuskim LPC // Nowosci zagranicznej techniki drogowej.- Warszawa, IBDiM.- 2001.- zeszyt 144.- p. 5.

# АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕСИ РУЙНУВАННЯ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ НЕЖОРСТКОГО ТИПУ

Бочарніков Є. І., ст. групи Д-42-22

Мищенко Д.С, ст. групи Д-41-22

Седов А.В., к.т.н., доцент

[avs.1708@ukr.net](mailto:avs.1708@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Дорожній одяг є конструкцією проїзної частини, яка включає кілька шарів з різних матеріалів. Основні вимоги до дорожнього одягу, що забезпечують безпечний рух автомобілів із розрахунковими швидкостями: необхідна міцність; рівність; шорсткість поверхні; безпилівість. У той же час дорожній одяг повинен відповідати вимогам економічності та надійності, забезпечувати можливість максимальної механізації робіт з будівництва та бути технологічним [1].

Фактичний термін служби дорожніх конструкцій, що експлуатуються, може відрізнитися від розрахункового внаслідок дії комплексу факторів, що визначаються особливостями умов навантаження (інтенсивність, склад, швидкість руху транспортних потоків), зміною показників транспортно-експлуатаційного стану (рис. 1) [2].

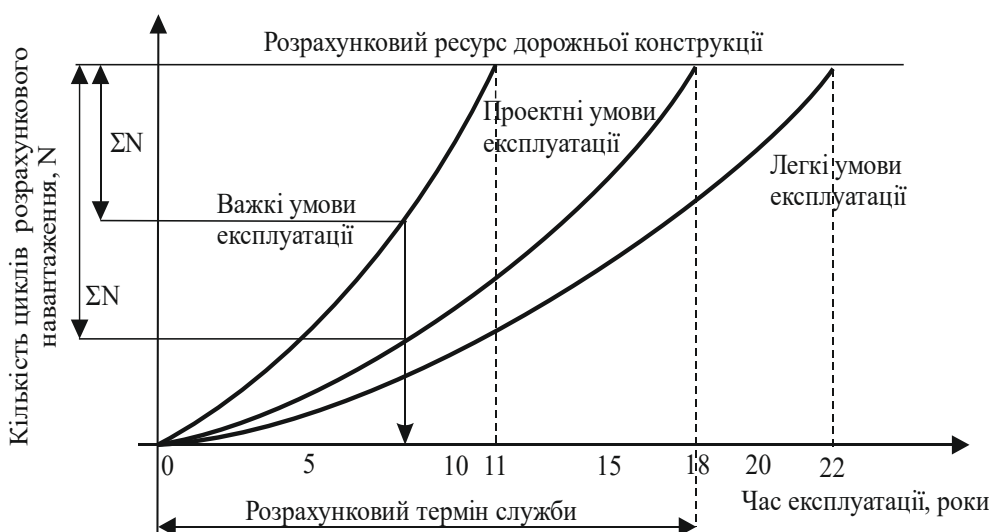


Рисунок 1 – Зміна терміну служби дорожньої конструкції в залежності від умов навантаження та прогнозування її залишкового ресурсу

Однією з основних причин відмови дорожнього одягу нежорсткого типу та проведення позапланового капітального ремонту є неприпустиме порушення рівності покриття автомобільної дороги у вигляді підвищеного тріщиноутворення, локальних просадок та формування колії (рис. 2) [3].



Рисунок 2 – Деформації та руйнування дорожнього покриття

Можна виділити три основні причини порушення рівності покриттів дорожнього одягу нежорсткого типу [4]:

- пластичні деформації асфальтобетонного покриття через його розм'якшення під одночасним впливом сонячної радіації та транспортного навантаження;
- залишкові деформації, що виникають у період перезволоження зі зниженням міцності шарів основи та підстилаючих шарів дорожньої конструкції;
- передчасне зношування матеріалу у верхньому шарі покриття під впливом шин автомобілів.

За своєю значимістю та місцем у лінійці оцінки стану дороги дефекти поділяються на приховані, явні, критичні та інші. І всі ці порушення вміщуються у два ємних поняття – усувні і неусувні ушкодження. Усувні – це порушення цілісності дорожнього одягу, усунення яких технічно можливо та економічно виправдано без глобального втручання, а непереборний дефект – потребує лише капітального ремонту. Критерієм для проведення капітального ремонту дороги є такий експлуатаційний стан, при якому міцність полотна знизилася до гранично допустимих значень та проводити поверхневий ремонт економічно недоцільно [5].

Утворення дефектів на асфальтобетонних покриттях автомобільних доріг пов'язане з комплексним впливом різних факторів у процесі будівництва та експлуатації автомобільних доріг [6].

У процесі будівництва дороги, через порушення технології укладання та ущільнення шарів матеріалу, має місце недоущільнення покладеного матеріалу, що надалі сприяє утворенню дефектів у вигляді вибоїн. Наприклад, при недостатньому коефіцієнті ущільнення земляного полотна ( $K_y = 0,9-0,92$ ) на дорожньому покритті утворюються вибоїни. Одночасно з цим на дорожніх

покриттях нежорсткого типу спостерігається просадка покриття, тобто, вертикальна просадка покриття без утворення тріщин за рахунок деформацій ґрунтів земляного полотна та матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу, що також впливає на якість дорожніх покриттів.

При влаштуванні асфальтобетонних покриттів за рахунок температурної сегрегації і гранулометричної неоднорідності матеріалу, що укладається, спостерігаються ділянки покриття з різними фізико-механічними характеристиками і водонепроникністю, що в процесі експлуатації сприяє утворенню дефектів у вигляді відшарування частинок матеріалу покриття (рис. 3).

Під впливом осевого навантаження від транспортних засобів та несприятливих кліматичних умов погіршуються основні експлуатаційні показники дороги – водонепроникність, міцність, рівність та зчипні властивості покриття автомобільної дороги [4, 5].

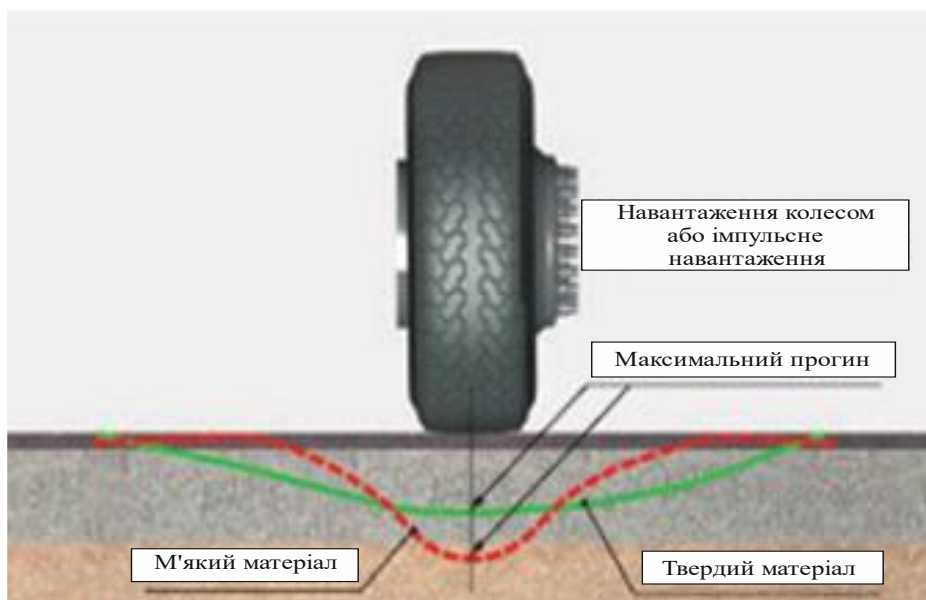


Рисунок 3 – «Чаша прогину» у дорожньому одязі

При виникненні «чаші прогину» (рис. 3) в дорожньому одязі виникають напруги, що розтягують, в монолітних шарах, при перевищенні яких утворюються мікротріщини. Вода при попаданні в мікротріщини, що утворилися, відіграє роль ПАР, знижуючи міцність зв'язків в асфальтобетоні і прискорюючи процес руйнування матеріалу (рис. 4) [4].

Деформації та руйнування існуючого покриття є передумовою до виникнення над ними відбитих тріщин після влаштування по них асфальтобетонних шарів. Механізм утворення відбитої тріщини показано на рис. 5 [7].

Утворення відбитих тріщин відбувається в холодну пору року, коли амплітуда коливань температури на поверхні покриття досягає свого максимуму [8].

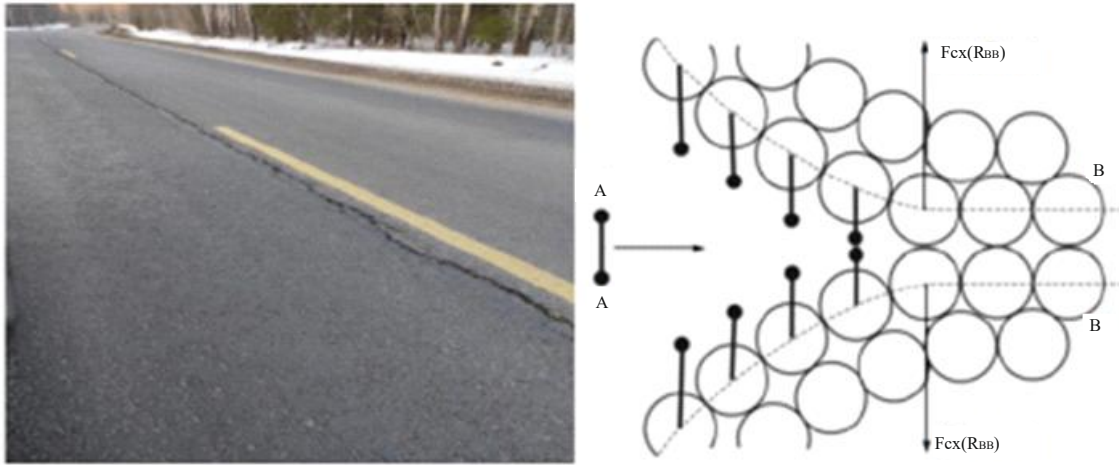
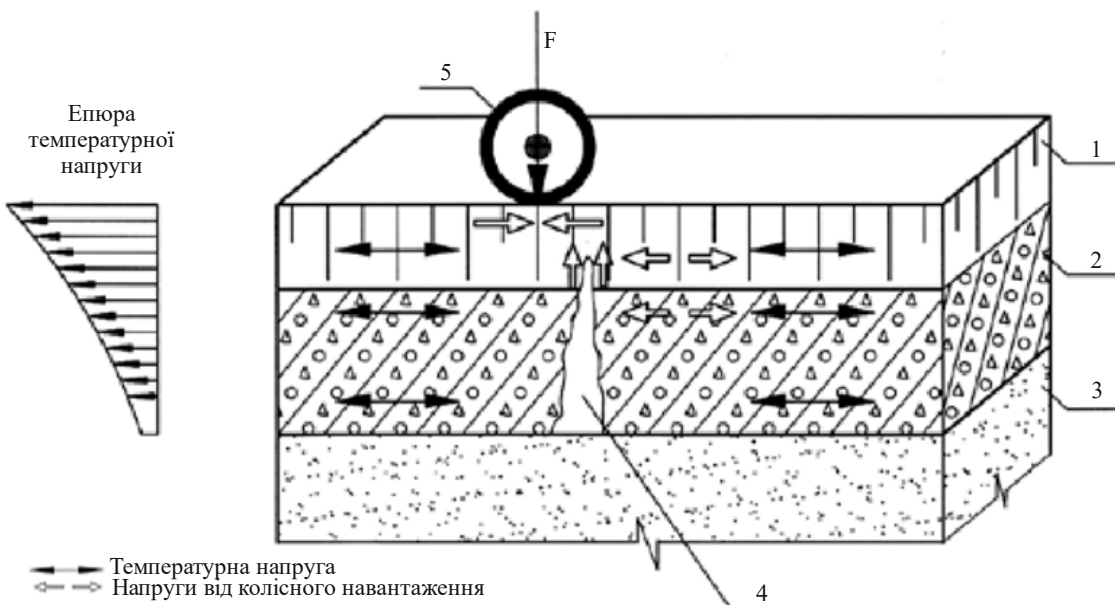


Рисунок 4 – Деформація покриття та можлива модельна схема розвитку тріщини за участю адсорбційно-активної середовища (Молекулі А2, що адсорбуються на вершині, знижують міцність зв'язків В–В) [5]



1 – асфальтобетонне покриття; 2 – основа; 3 – підстиляючий шар; 4 – тріщина; 5 – колісне навантаження

Рисунок 5 – Механізм утворення відбитої тріщини

Аналізуючи вищевикладене, слід зазначити, що забезпечення нормативних міжремонтних термінів служби на існуючій мережі автомобільних доріг є важкою задачею, що вимагає колосальних матеріальних і фінансових витрат і усунення втомних залишкових напруг.

Для посилення конструкції потрібно вирішити три завдання:

- забезпечити максимальне поглинання напруги від транспортних засобів, що припадають на зволожену ґрунтову основу, за рахунок створення потужного гомогенного шару несучої основи
- ліквідація залишкових напруг у шарах несучої основи

– ліквідація тріщин та мінімальна кількість меж шарів у композитній конструкції дорожнього одягу.

### Література

1. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів: СОУ 45.2-00018112-042:2009 – [Чинний від 2009-06-16]. К.: Державна служба автомобільних доріг України, 2009. 50 с. (Стандарт Укравтодор).
2. Смолянук Р. В. Оцінка експлуатаційного стану дорожніх покриттів на основі вдосконалення методів вимірювання рівності та зчпних якостей: Дис... канд. техн. наук / ХНАДУ. Харків, 2005. 155 с..
3. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. Київ. 2012. № 5 С. 25-30.
4. Гамеляк І. П. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення / Гамеляк І. П., Райковський В. Ф. // Автомобільні дороги. К., 2014. Вип. 1. (237) С. 24-28.
5. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2012. Вип. № 47 С. 47-53.
6. Руйнування асфальтобетонного покриття причини і види. URL:<https://jak.koshachek.com/articles/rujnuvannja-asfaltobetonno-pokrittja-prichini-i-vidi> (дата звернення: 15.03.2026).
7. Дорожко Є. В. Визначення та порівняння температурних напружень в асфальтобетонних шарах на жорсткій основі при нагріванні та охолодженні / Дорожко Є. В., Ряпухін В. М. // «Міське середовище ХХІ сто-річчя. Архітектура. Будівництво. Дизайн»: тези доповідей I-го міжнародного науково-практичного конгресу. К.: НАУ, 2014. С. 303-304.
8. Дорожко Є.В. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі / Дорожко Є. В., Ряпухін В. М. // «Наукові нотатки»: міжвузівський збірник за галузями знань «Металургія і матеріалознавство». Луцьк, Луцький НТУ, 2014. Вип. 46. С. 147-153.

# ЩОДО МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ МІЦНОСТІ ПОКРИТТЯ ПІДЛОГИ У ПРИМІЩЕННІ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОТРИМАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ВИКОНАННЯ РОБІТ

*Є.О. Васильченко, студент гр. Д-42-22,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
О.О. Воловик, к.т.н.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

**Вступ.** Для зміцнення та підвищення експлуатаційних характеристик верхнього шару бетонних покриттів, зокрема підлог у приміщеннях виробничих та складських будівель використовується спеціальна суха суміш, яка у готовому вигляді утворює зміцнююче полімерцементне покриття – топінг. Топінг у загальному вигляді – це суміш, яка наноситься на свіжоукладений бетон і втирається у верхній шар для його зміцнення. Утворене зміцнююче полімерцементне покриття є частиною бетонної підлоги, яка влаштовується шаром невеликої товщини усередині виробничої будівлі. Основним складовим елементом суміші є високоміцний портландцемент з високим вмістом клинкерних мінералів та тоншим помелом, оскільки він володіє високими показниками міцності на стиск і згин, швидко набирає міцність на ранніх термінах тверднення. Для отримання готової суміші до основного в'язучого додаються тверді наповнювачі – це може бути кварцовий пісок, корундова крихта, металеві частки; хімічні добавки – це полімерні компоненти, що покращують адгезію, зменшують усадку та надають додаткових антистатичних властивостей; різноманітних пігментів, – як правило для надання відтінку різних кольорів.

Відповідно до наповнювача, який використано, топінги поділяються на три основні типи:

1. Кварцовий топінг. Застосовується у приміщеннях із середнім навантаженням, таких як торгівельні центри, склади, лікарні. Підвищує міцність поверхні орієнтовно у 1,5 рази.

2. Корундовий топінг. Застосовується у приміщеннях з інтенсивним навантаженням, таких як виробничі цехи, автосервіси, логістичні центри. Підвищує міцність поверхні орієнтовно у 2,0 рази.

3. Металізований топінг. Призначений для зон з екстремальними навантаженнями але не рекомендується для вологих приміщень через ризик корозії.

**Матеріали та методи.** Метою дослідження є встановлення міцності зчеплення зміцнюючого полімерцементного покриття – топінгу з основою – промисловою цементобетонною підлогою складського приміщення виробничої будівлі критого типу (рис. 1).

Виконання робіт з бетонування підлоги на досліджуваному об'єкті виконувалося згідно з технологічним регламентом на влаштування покриття підлоги з застосуванням зміцнюючого покриття Ceresit CF 56 Corundum [1].

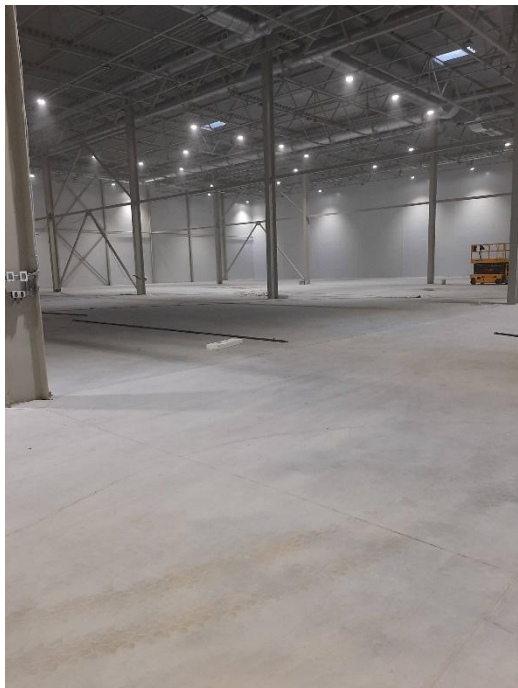


Рисунок 1 – Загальний вигляд промислової підлоги виробничої будівлі закритого типу

Технологія виконання робіт включає наступну послідовність дій:

- планування та підготовка поверхні основи;
- фіксація висотних відміток та встановлення реперів, які відповідають проєктним значенням товщини шару, який влаштовується (з урахуванням зміни поздовжніх та поперечних ухилів, за необхідності);
- влаштування гідроізоляційного прошарку з цільної поліетиленової плівки;
- влаштування каркасу армування;
- укладання та розподілення цементобетонної суміші на поверхню підготовленої основи;
- розподілення зміцнюючої суміші Ceresit CF 56 Corundum по поверхні підлоги;
- перетирання поверхні бетонної підлоги спеціальними механізмами;
- затирання та загладжування поверхні бетонної підлоги спеціальними механізмами;
- нанесення мембраноутворювача Ceresit CT 14;
- нарізання деформаційних швів;
- заповнення деформаційних швів поліуретановим герметиком Ceresit CS 51.

Для бетонування підлоги було використано цементобетонну суміш марки БСГ С20/25 Р4 модифіковану домішками Sika Plast-2330 у кількості 0,4 % від маси цементу та Sika Plast-2330W у кількості 0,4 % від маси цементу

(табл. 1). Загальна кількість укладеної цементобетонної суміші за об'ємом становить 1121 м<sup>3</sup>. Міцність цементобетонних зразків за даними виробника, при зберіганні в нормальних умовах, становить 32 МПа, що відповідає проектному класу у віці 28 діб з дня виготовлення.

Таблиця 1 – Показники властивостей цементобетонної суміші

№	Номер документа про якість бетонної суміші	Дата виготовлення бетонної суміші	Об'єм бетонної суміші, м <sup>3</sup>	Легко-укладальність бетонної суміші	Клас бетону за міцністю на стиск у віці 28 діб	Проектна марка за середньою щільністю, кг/м <sup>3</sup>	Найбільша крупність заповнювача, мм
1	388	25.10.2024	167	16-20	C20/25	2300-2400	20
2	392	27.10.2024	169				
3	409	30.10.2024	202,5				
4	420	01.11.2024	102				
5	437	04.11.2024	989				
6	449	06.11.2024	179,5				
7	455	08.11.2024	203				

Після бетонування виконувалося ущільнення бетонної суміші віброрейкою у два проходи. Орієнтовно, після чотирьох годин твердіння (за кліматичних умов: температура довкілля має становити від 18 °С до 20 °С, вологість – 60 %) відбувалося схоплювання верхнього шару. На ньому повинен залишатися відбиток ноги завглибшки не більше 3-6 мм. За таких умов верхній шар оброблявся затирочними машинами з дисками діаметром 900 мм до утворення на поверхні цементного рівномірного шару.

Наступним етапом виконувалася присипка поверхні підлоги сумішшю Ceresit CF 56 Corundum з нормою розподілу від 3 кг/м<sup>2</sup> до 5 кг/м<sup>2</sup> за один прийом. Завершення процесу просочування зміцнювача вологою поверхневого шару контролювалася візуально – змінюється колір, поверхня стає темнішою. Після цього виконувалася обробка поверхні затирочними машинами з дисками діаметром 600 мм.

**Результати та обговорення.** Після виконання послідовних етапів виконання робіт та досягнення технологічних умов твердіння через 28 діб, проведено дослідження міцності зчеплення зміцнюючого полімерцементного покриття – топінгу з основою – промисловою цементобетонною підлогою складського приміщення виробничої будівлі критого типу. Вимірювання проводилися згідно з ДСТУ EN 1542 [2] на відповідність технічному опису Ceresit CF 56 CORUNDUM [3] цифровим тестером відриву Matest E142.

До початку визначення міцності зчеплення зміцнюючого полімерцементного покриття – топінгу з основою візуально встановлено місця вірогідних дефектів влаштованого полімерцементного покриття – за кольором та наявністю значної кількості волосяних мікротріщин.

По цим площам рівномірно розподілені точки вимірювання, загальною кількістю п'ять точок (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2 – Фактичні значення показників міцності

Номер точки	Дата бетонування	Найменування продукції	Міцність зчеплення з основою	Матеріал основи	Примітка
1	01.11.2024	Ceresit CF 56	1,669 кН (0,85 МПа)	Бетон С20/25	Рисунок 2, а
2	04.11.2024	Ceresit CF 56	0,144 кН (0,074 МПа)	Бетон С20/25	Рисунок 2, б
3	04.11.2024	Ceresit CF 56	0,145 кН (0,074 МПа)	Бетон С20/25	Рисунок 2, в
4	01.11.2024	Ceresit CF 56	0,576 кН (0,29 МПа)	Бетон С20/25	Рисунок 2, г
5	30.10.2024	Ceresit CF 56	0,757 кН (0,39 МПа)	Бетон С20/25	Рисунок 2, д

а



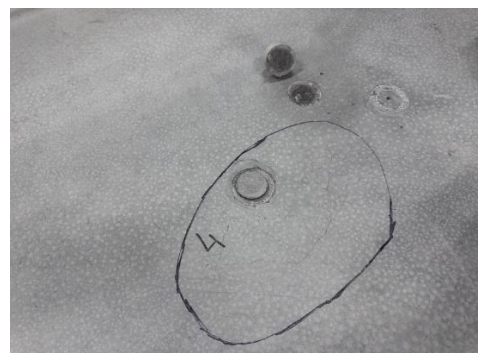
б



в



г



д



Рисунок 2 – Загальний вигляд точок вимірювання на об'єкті виконання робіт

**Висновки.** Згідно з технічним описом Ceresit CF 56 CORUNDUM [3] міцність зчеплення з основою через 28 діб має становити не менше ніж 1,5 МПа. За отриманими результатами вимірювань встановлено не відповідність міцності зчеплення полімерцементного покриття з основою, зокрема: для першої точки – 43 %; для другої і третьої точок – 95 %; для четвертої точки – 81 %; для п'ятої точки – 74 %. Посилаючись на отримані результати вимірювань можемо відзначити, що на певному етапі виконання робіт відбулося не дотримання

технології виконання робіт, не дотримання температурних режимів та умов вологості на стадії твердіння. Також слід враховувати, що за сирих та прохолодних погодних умов присипка поверхні підлоги сумішшю Ceresit CF 56 Corundum повинна виконуватися за два прийоми з нормою розподілу 3 кг/м<sup>2</sup> – перший шар та 2 кг/м<sup>2</sup> – другий шар (процес затирання також виконується двічі); час від зволоження зміцнювача, що характеризується зміною кольору, до початку затирання у осінньо-зимовий період не повинен перевищувати 40-60 хвилин.

#### **Література:**

1. Технологічний регламент на влаштування покриття підлоги з застосуванням зміцнюючого покриття Ceresit CF 56 Corundum (топінг) в приміщеннях виробничої будівлі
2. ДСТУ EN 1542:2022 Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Вимірювання міцності з'єднання відриванням (EN 1542:1999, IDT)
3. Технічний опис Ceresit CF 56 CORUNDUM, Ц.1. ПО з ДСТУ Б В.2.7-126:2011 Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови

# ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ COLD RECYCLING ПРИ КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

*Веретельникова Ю.Ю., ст. групи Д-32-23*

*[Veretelnikova2006@gmail.com](mailto:Veretelnikova2006@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Яреценко Н.В., к.т.н., доцент*

*[netyasin4@gmail.com](mailto:netyasin4@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

## Вступ

Проблема відновлення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг в Україні залишається актуальною через значну частку покриттів із простроченим міжремонтним терміном. Традиційні методи капітального ремонту передбачають фрезерування, вивезення старого матеріалу, улаштування нових шарів основи та покриття, що супроводжується значними матеріальними, енергетичними та фінансовими витратами.

У сучасній практиці все більшого поширення набуває технологія холодної регенерації (cold recycling), яка дозволяє повторно використовувати існуючий матеріал дорожнього одягу без його нагрівання. Такий підхід відповідає принципам сталого розвитку та ресурсозбереження у дорожньому будівництві.

Метою роботи є поглиблений аналіз технології cold recycling, її конструктивно-технологічних особливостей, економічної та екологічної ефективності, а також визначення перспектив застосування в Україні.

## Технологічна сутність методу

Cold recycling — це процес переробки шарів дорожнього одягу з використанням існуючого асфальтобетону (RAP — reclaimed asphalt pavement) як основного заповнювача з додаванням в'язучих матеріалів без попереднього нагрівання суміші.

Залежно від умов виконання робіт розрізняють:

In-place recycling — регенерація безпосередньо на місці.

Central plant recycling — переробка матеріалу на стаціонарному або мобільному заводі.

Найбільш поширеним є метод in-place, що забезпечує мінімальні транспортні витрати та скорочення строків ремонту.

Основне технологічне обладнання — ресайклер (дорожня фреза з функцією змішування), автогрейдер, котки для ущільнення, розподільники в'язучих.

Типові параметри процесу:

- глибина регенерації: 15–25 см;
- вміст бітумної емульсії – 2,5–4,5 % від маси сухої суміші;

- вміст цементу (за необхідності стабілізації) – 1,5–3,0 %;
- оптимальна вологість – визначається лабораторними випробуваннями.

Після ущільнення формується шар із підвищеною модулем пружності (250-600 МПа залежно від складу), який виконує функцію основи під верхній шар асфальтобетону.

### **Екологічні переваги**

Зменшення використання природних ресурсів (щебеню, бітуму) сприяє:

- скороченню кар'єрних розробок;
- зменшенню обсягів транспортування;
- зниженню викидів CO<sub>2</sub>;
- мінімізації утворення будівельних відходів.

За даними міжнародних дорожніх організацій, зниження енергоспоживання при холодній регенерації може досягати 30–50 % порівняно з гарячими методами відновлення покриттів.

### **Конструктивні особливості та контроль якості**

Ефективність cold recycling значною мірою залежить від:

- правильного підбору гранулометричного складу;
- визначення оптимальної вологості;
- лабораторного визначення межі міцності при стиску та розтягу;
- контролю коефіцієнта ущільнення (не менше 0,98 від максимальної щільності).

Проектування конструкції дорожнього одягу здійснюється відповідно до вимог чинних будівельних норм України, з урахуванням інтенсивності руху та кліматичної зони.

### **Обмеження застосування**

Технологія не рекомендується:

- при руйнуванні земляного полотна;
- за наявності просадних або надмірно зволжених ґрунтів;
- при необхідності повної зміни геометричних параметрів дороги.

У таких випадках доцільніше застосовувати традиційні методи реконструкції.

### **Перспективи впровадження в Україні**

В умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі України холодна регенерація дозволяє:

- збільшити протяжність відремонтованих доріг за однаковий бюджет;
- скоротити терміни виконання робіт;
- підвищити рівень технологічності будівництва;
- наблизити галузь до європейських стандартів екологічності.

Подальший розвиток технології потребує:

- удосконалення нормативної бази;
- впровадження методик довгострокового моніторингу;
- розширення навчання інженерного персоналу;
- використання цифрового контролю параметрів ущільнення та дозування.

### Підсумки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що технологія холодної регенерації дорожнього одягу (cold recycling) є одним із найбільш ефективних інноваційних напрямів у сфері капітального ремонту автомобільних доріг. Її застосування дозволяє комплексно вирішувати проблеми зношених асфальтобетонних покриттів без повного демонтажу конструкції, що особливо важливо в умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі та необхідності швидкого відновлення транспортної інфраструктури.

Сутність технології полягає у повторному використанні матеріалу існуючих шарів дорожнього одягу з додаванням оптимально підібраних в'язучих компонентів. Такий підхід забезпечує раціональне використання ресурсів, зменшує потребу в нових інертних матеріалах і суттєво скорочує обсяги перевезень. Внаслідок цього досягається значне зниження собівартості робіт і скорочення строків їх виконання.

Технічний ефект від застосування cold recycling проявляється у підвищенні несучої здатності основи, зменшенні деформацій покриття та покращенні його рівності. Правильно підібраний склад регенованої суміші забезпечує формування конструктивного шару з достатніми показниками міцності, водостійкості та тріщиностійкості. Це сприяє збільшенню міжремонтного терміну експлуатації дороги та зменшенню витрат на подальше утримання.

Економічна доцільність технології підтверджується можливістю повторного використання до 70–90 % існуючого матеріалу конструкції. При цьому основні витрати пов'язані лише з додаванням в'язучих компонентів та механізацією процесу. За рахунок цього зменшуються загальні витрати на матеріали, транспортування та утилізацію відходів. У масштабах регіональних програм ремонту це дозволяє збільшити протяжність відновлених доріг за однакового обсягу фінансування.

Важливим аспектом є екологічна складова. Зниження обсягів видобутку щебеню та виробництва бітуму сприяє скороченню енергоспоживання та викидів парникових газів. Відсутність необхідності нагрівання суміші додатково зменшує енергетичні витрати порівняно з традиційними гарячими технологіями. Таким чином, cold recycling відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та принципам сталого розвитку.

Разом із тим ефективність технології безпосередньо залежить від ретельного інженерного обґрунтування. Необхідним є проведення попередніх обстежень стану дорожнього одягу, лабораторний підбір складу суміші, визначення оптимальної вологості та контролю ступеня ущільнення. Порушення технології може призвести до зниження довговічності конструкції, тому

впровадження cold recycling потребує високої кваліфікації персоналу та сучасного технічного забезпечення.

В умовах України застосування холодної регенерації є найбільш доцільним на автомобільних дорогах II–IV категорій із середньою інтенсивністю руху, де спостерігається руйнування покриття без критичного пошкодження земляного полотна. З урахуванням кліматичних факторів особливу увагу слід приділяти вибору типу в'язучого матеріалу та режимам ущільнення.

Перспективи розвитку технології пов'язані з удосконаленням нормативної бази, впровадженням цифрових систем контролю якості, розширенням використання спіненого бітуму та комбінованих в'язучих, а також накопиченням статистичних даних щодо довгострокової експлуатаційної надійності регенерованих шарів.

### **Висновки**

Технологія cold recycling є ефективним, економічно виправданим та екологічно безпечним методом капітального ремонту автомобільних доріг. Її широке впровадження сприятиме підвищенню якості дорожньої мережі України, оптимізації бюджетних витрат і забезпеченню сталого розвитку транспортної інфраструктури.

### **Література**

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування.
2. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
3. Wirtgen GmbH. Cold Recycling Technology Manual. – Windhagen, 2012.
4. PIARC. Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements. Technical Report. – Paris, 2019.

# ВИКОРИСТАННЯ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Воронін О.М., ст. групи Д-46-22,*

*[sanjabro2904@gmail.com](mailto:sanjabro2904@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Тетера В.С., асистент*

*[vl1470@ukr.net](mailto:vl1470@ukr.net)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Сучасний розвиток інфраструктури нерозривно пов'язаний зі зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище. Однією з найгостріших екологічних проблем є накопичення відпрацьованих автомобільних шин, які не піддаються біологічному розкладанню. За даними екологічних досліджень, період повного розкладу шин у природних умовах сягає 100 років і більше, при цьому в ґрунт та ґрунтові води виділяються токсичні сполуки [2; 7].



Рисунок 1 – Звалище старих автомобільних шин

В Україні, за експертними оцінками, маса неутилізованих шин перевищує 10 млн тонн, а щорічне накопичення становить близько 400 тис. тонн. При цьому при правильному збиранню та переробці піддається лише 10 % цих відходів [6]. Така ситуація зумовлює необхідність пошуку ефективних шляхів утилізації, серед яких особливе місце займає використання перероблених шин у дорожньому будівництві.

Екологічними передумовами використання гумової крихти є те, що зношені автомобільні шини становлять значну небезпеку при традиційних способах поводження. Спалювання однієї тонни покришок супроводжується викидом в атмосферу 270 кг сажі та 450 кг токсичних газів [2]. Крім того, шини, що зберігаються на звалищах, є середовищем для розмноження гризунів та комах, а також джерелом забруднення ґрунтових вод важкими металами та нафтопродуктами [7].



Рисунок 2 – Найбільша пожежа автомобільних шин у 2012 році у Кувейті

Водночас, як зазначають дослідники, шини являють собою цінну вторинну сировину. В одній тонні зношених покриттів міститься до 700 кг гуми, яка може бути повторно використана для виробництва будівельних матеріалів [2]. Європейське законодавство, зокрема принцип "забруднювач платить", закріплений у директивах ЄС, стимулює переробку відходів і створює економічні передумови для впровадження ресурсозберігаючих технологій [3].

Тому з'являється потреба переробки шин у будівельні матеріали, сучасна індустрія переробки пропонує декілька методів отримання якісної сировини з відпрацьованих шин. Основним способом є механічне подрібнення, в результаті якого утворюється гумова крихта різних фракцій [7]. Цей метод є найбільш поширеним завдяки відносній простоті та економічній доцільності.

Перспективними також є технології криогенного подрібнення із використанням рідкого азоту, що дозволяє отримувати частинки правильної форми з мінімальним вмістом текстильного корду, а також піроліз, який дає змогу отримувати рідке паливо та технічний вуглець [6; 7]. Останній метод особливо цінний з точки зору енергетичної автономності процесу.

Найбільш ефективним напрямком застосування перероблених шин є їх використання як модифікатора асфальтобетонних сумішей. Як зазначають багато науковців, додавання гумової крихти до бітуму або безпосередньо в асфальтобетонну суміш дозволяє суттєво покращити фізико-механічні властивості дорожнього покриття [3]. Гумову крихту також доцільно використовувати для щибенево-мастикових асфальтобетонних сумішей (ЩМАС), як заміник стабілізуючої добавки (целюлози), але при правильному експериментальному підборі фракції та відсотку дозування гумової крихти.



Рисунок 3 – Гумова крихта різних фракцій

Дослідженнями встановлено, що введення 15% гумової крихти до складу асфальтобетонної суміші збільшує довговічність покриття на 15–20 років. Крім того, такі дороги виявляють вищу стійкість до деформацій при екстремальних температурах, мають кращі шумопоглинальні властивості (зниження шуму на 3–6 децибел) та підвищену зносостійкість [6].

Технологія модифікації передбачає додавання гумового порошку (фракцією до 0,63 мм) або гранульованої гуми (розміром 1–4 мм) до бітуму при температурі 160–180°C. При цьому відбувається часткове набухання гуми та хімічна взаємодія з бітумною складовою, що забезпечує підвищення в'язкості та еластичності в'язучого [3].

Окрім використання в асфальтобетонних сумішах, гумову крихту застосовують для влаштування безшовних покриттів на спортивних майданчиках, бігових доріжках, дитячих ігрових зонах. Такі покриття характеризуються високою пружністю, водонепроникністю, протиковзними властивостями та терміном експлуатації не менше 25 років [1; 5].

Гумова крихта змішується з поліуретановим або епоксидним зв'язуючим, що дозволяє створювати монолітну поверхню без швів та зазорів [1].

Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію складів гумомодифікованих асфальтобетонів, розробку нормативної бази та стимулювання використання вторинної сировини у дорожньому господарстві України.

Впровадження технологій використання гумової крихти в дорожньому будівництві має значний економічний потенціал. Хоча початкова вартість такого покриття дещо вища порівняно з традиційним асфальтобетоном, довгострокова перспектива демонструє суттєву економію за рахунок зменшення витрат на ремонт та утримання автомобільних доріг [6].

Для України, де щорічно накопичується значна кількість непридатних шин, розвиток цього напрямку дозволить вирішити одразу кілька завдань: зменшити обсяги відходів, знизити забруднення довкілля та підвищити якість

дорожньої інфраструктури. На жаль, на сьогодні значна частина гумової крихти імпортується з-за кордону, тоді як вітчизняна сировина використовується недостатньо [6].

Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію складів гумомодифікованих асфальтобетонів, розробку нормативної бази та стимулювання використання вторинної сировини у дорожньому господарстві України.

### Література

1. Безшовне гумове покриття м'який асфальт. Puzzlegym. URL: <https://puzzlegym.pp.ua/asfalt/> (дата звернення: 27.03.2026).
2. Екологічні проблеми виробництва шин та їх утилізації. Екомоніторинг. URL: <https://ecomonitoring.info/екологічні-проблеми-виробництва-шин/> (дата звернення: 27.03.2026).
3. Соколов О. В., Желотобрях А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві. Дороги і мости. 2020. Вип. 21. С. 110–119.
4. Утилізація та переробка гумотехнічних виробів. УтильВторПром. URL: <https://utilvtorprom.ua/novosti/utilizaciya-i-pererabotka-rezinotekhnicheskikh-izdelij/> (дата звернення: 27.03.2026).
5. Інструкція з укладання гумових плит Rubeco. Rubeco. URL: <https://rubeco.com.ua/ua/statti> (дата звернення: 27.03.2026).
6. Як подолати «шинну» безгосподарність в Україні? Екологія. Право. Людина. 2019. URL: <https://ecolog-ua.com/news/yak-podolaty-shynnu-bezgospodarnist-v-ukrayini> (дата звернення: 27.03.2026).
7. Із шин — у стиль: переробка, що надихає. Побудуй. URL: <https://pobuduj.com.ua/uk/article/yz-shyn-v-styl-pererabotka-kotoraya-vdokhnovlyayet/> (дата звернення: 27.03.2026).

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Гойденко С.О, ст. групи Д-32-23*

*[sveta.goidenko@gmail.com](mailto:sveta.goidenko@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Яреценко Н.В., к.т.н., доцент*

*[netyasin4@gmail.com](mailto:netyasin4@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

## **Вступ**

Автомобільні дороги є стратегічно важливою складовою інфраструктури будь-якої держави. Вони забезпечують мобільність населення, розвиток економіки, функціонування логістичних систем і регіональну інтеграцію. В умовах глобалізації, інтенсифікації транспортних потоків та кліматичних змін питання підвищення якості та довговічності дорожнього покриття набуває особливої актуальності.

Сучасне дорожнє будівництво вже не обмежується лише укладанням асфальтобетону. Воно базується на комплексному підході, який поєднує інноваційні матеріали, цифрові технології, екологічні рішення та науково обґрунтоване проектування. Саме впровадження новітніх технологій дозволяє формувати транспортну інфраструктуру, що відповідає принципам сталого розвитку.

## **Теоретичні основи проектування сучасних автомобільних доріг**

Проектування автомобільних доріг здійснюється з урахуванням інтенсивності руху, категорії дороги, кліматичних умов та інженерно-геологічних характеристик ґрунтів. Конструкція дорожнього одягу є багатошаровою системою, в якій кожен шар виконує свою функцію.

Основними елементами дорожньої конструкції є:

- покриття (верхній шар);
- вирівнювальний шар;
- основа;
- додаткова основа;
- земляне полотно.

Покриття сприймає навантаження від транспортних засобів і передає його на нижні шари. Основа забезпечує розподіл напружень та стійкість конструкції, а земляне полотно формує геометричну стабільність дороги.

Сучасні методики проектування враховують не лише статичні навантаження, але й динамічні впливи, температурні деформації, водонасичення

грунтів та процеси морозного пучення. Саме комплексний інженерний підхід забезпечує довговічність дорожнього покриття.

### **Інноваційні матеріали у дорожньому будівництві**

Полімер-модифіковані бітуми

Традиційний бітум має обмежену еластичність, що призводить до утворення тріщин при низьких температурах та колійності в умовах спеки. Додавання полімерів значно покращує фізико-механічні властивості матеріалу. Полімер-модифікований бітум характеризується:

- підвищеною стійкістю до температурних коливань;
- зменшенням утворення втомних тріщин;
- довшим терміном експлуатації покриття.

Це особливо важливо для регіонів із різкими сезонними змінами температур.

### **Вторинні та перероблені матеріали**

Однією з тенденцій сучасного будівництва є використання рециклінгових технологій. Фрезерований асфальтобетон (RAP) повторно вводиться у виробництво нових сумішей, що дозволяє:

- зменшити витрати на природні ресурси;
- скоротити обсяги будівельних відходів;
- знизити собівартість робіт.

Також застосовується гумова крихта з перероблених шин, що підвищує еластичність покриття та зменшує рівень шуму.

### **Геосинтетичні матеріали**

Геотекстиль, георешітки та геомембрани використовуються для армування ґрунтів і підвищення несучої здатності основи. Вони дозволяють:

- зменшити товщину конструктивних шарів;
- підвищити стабільність слабких ґрунтів;
- покращити дренажні властивості.

Застосування геосинтетики особливо ефективне в умовах складної геології.

### **Сучасні технології будівництва та реконструкції Холодний ресайклінг**

Технологія холодного ресайклінгу передбачає переробку існуючого покриття без його повного демонтажу. Матеріал фрезерується, змішується з цементом або бітумною емульсією та повторно укладається.

Переваги методу:

- скорочення термінів ремонту;

- економія матеріалів;
- зменшення транспортних витрат;
- мінімальний вплив на довкілля.

### **Технологія Warm Mix Asphalt**

«Теплий» асфальтобетон виготовляється при нижчих температурах, ніж традиційний. Це дозволяє зменшити енергоспоживання до 30% та скоротити викиди парникових газів. Крім того, покращуються умови праці на асфальтобетонних заводах.

### **Цифровізація дорожнього будівництва**

Використання GPS-навігації, автоматизованих систем управління технікою та BIM-моделювання дозволяє:

- підвищити точність укладання шарів;
- контролювати товщину покриття в реальному часі;
- оптимізувати витрати матеріалів;
- мінімізувати людський фактор.

Цифрові технології забезпечують прозорість і якість виконання робіт.

### **Екологічні аспекти та принципи сталого розвитку**

Сучасне дорожнє будівництво орієнтується на зменшення негативного впливу на довкілля. Основними напрямками є:

- зниження викидів CO<sub>2</sub>;
- повторне використання матеріалів;
- впровадження шумопоглинаючих покриттів;
- облаштування ефективних систем водовідведення;
- озеленення придорожніх територій.

Екологічний підхід не лише зберігає природні ресурси, а й підвищує соціальну відповідальність галузі.

### **Перспективи розвитку: розумні та енергоефективні дороги**

Одним із перспективних напрямів є створення «розумних доріг», оснащених датчиками для моніторингу:

- температури покриття;
- навантаження від транспорту;
- стану зчеплення коліс із поверхнею.

Такі системи дозволяють прогнозувати руйнування та проводити своєчасне технічне обслуговування.

Також активно досліджується можливість використання сонячних панелей у дорожньому покритті та створення самовідновлюваного асфальтобетону з мікрокапсулами бітуму, які активуються при утворенні тріщин.

## Висновки

Інноваційні технології у сфері будівництва автомобільних доріг є ключовим чинником забезпечення довговічності, безпеки та екологічності транспортної інфраструктури. Використання полімер-модифікованих матеріалів, рециклінгових технологій, геосинтетики та цифрових рішень дозволяє підвищити якість дорожнього покриття та зменшити витрати на його експлуатацію.

Подальший розвиток галузі повинен базуватися на інтеграції наукових досліджень, впровадженні міжнародного досвіду та дотриманні принципів сталого розвитку. Саме інноваційний підхід формує нову концепцію дорожнього будівництва – ефективну, екологічну та технологічну.

## Література

- 1, ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Київ: Мінрегіон України, 2015. 91 с.
2. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіон України, 2018. 55 с.
3. СОУ 45.2-00018112-077:2012. Автомобільні дороги. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон. Технічні вимоги. Київ, 2012.
4. Білятинський О. А., Кизима С. П. Дорожні одяги автомобільних доріг: підручник. Київ: Транспорт, 2017. 256 с.
5. Гончаренко Ф. П., Бойко В. Д. Проектування та будівництво автомобільних доріг: навч. посіб. Київ: Вища школа, 2019. 320 с.
6. Пшінько О. М., Волик Б. М. Інноваційні технології в дорожньому будівництві. Вісник транспортної інфраструктури. 2021. № 3. С. 45–52.
7. Кизима С. П., Белов І. В. Застосування геосинтетичних матеріалів у конструкціях дорожнього одягу. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2020. № 108. С. 23–30.
8. European Asphalt Pavement Association (EAPA). Warm Mix Asphalt. Brussels, 2020.

# ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Горбань С.А., ст. групи Д-52-25  
[gorbansvetlana437@gmail.com](mailto:gorbansvetlana437@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Костін Д.Ю., к.т.н., доцент  
[dmitric2008@gmail.com](mailto:dmitric2008@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Розвиток дорожньої інфраструктури є одним із важливих напрямів розвитку економіки будь-якої держави. Якість автомобільних доріг безпосередньо впливає на ефективність транспортних перевезень, безпеку руху та економічний розвиток регіонів.

Одним із сучасних методів відновлення дорожнього покриття є технологія холодного ресайклінгу. Ця технологія дозволяє ефективно відновлювати дорожні конструкції без повного демонтажу старого покриття.

Завдяки використанню наявних матеріалів дорожнього одягу значно зменшуються витрати на будівництво та ремонт доріг.

Сутність технології холодного ресайклінгу Холодний ресайклінг – це технологія відновлення дорожнього покриття, яка полягає у переробці існуючих шарів дорожнього одягу без нагрівання матеріалу. Під час виконання робіт верхній шар дорожнього покриття фрезерується спеціальною технікою (рис. 1), після чого отриманий матеріал перемішується з в'язучими речовинами та використовується повторно для формування нового шару дорожньої конструкції.



Рисунок 1 – Ресайклінг-машина

Основною особливістю цієї технології є використання матеріалу існуючої дороги. Це дозволяє значно скоротити потребу у нових будівельних

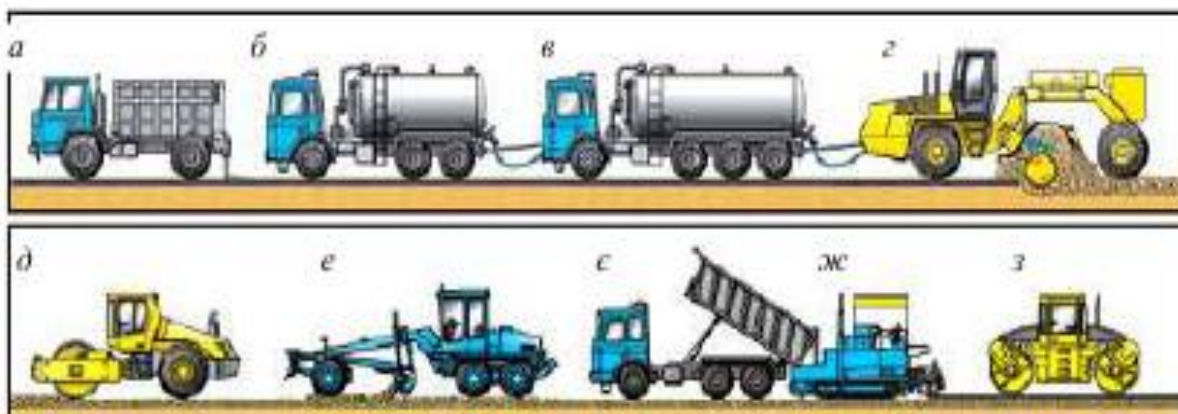
матеріалах. У процесі ресайклінгу до подрібненого матеріалу можуть додаватися різні стабілізуючі компоненти, наприклад цемент, бітумні емульсії або піно-бітум.

Після змішування всіх компонентів матеріал рівномірно розподіляється по поверхні дороги та ущільнюється дорожніми котками. У результаті формується новий міцний шар дорожнього покриття, який може служити основою для подальшого укладання асфальтобетонного шару.

### Основні етапи виконання холодного ресайклінгу

Процес холодного ресайклінгу включає декілька основних технологічних етапів. Спочатку проводиться підготовка ділянки дороги та оцінка стану існуючого покриття. Після цього спеціальні машини виконують фрезерування старого дорожнього шару на визначену глибину.

Далі подрібнений матеріал змішується з необхідними добавками. Для цього використовуються спеціальні ресайклери, які одночасно подрібнюють матеріал, додають в'язучі речовини та перемішують суміш. Отримана суміш розподіляється по поверхні дороги, після чого проводиться її профілювання (рис. 2).



а – розподіл мінерального в'язучого самохідним розподільником; б – г – відновлення шару дорожнього одягу шляхом холодного ресайклінгу з уведенням рідкого органічного в'язучого комплектом машин «автоцистерна+автогудронатор+ресайклер» (ресайклер Bomag MRH125); д – підкочування укріпленого шару самохідним комбінованим котком; е – профілювання поверхні покриття автогрейдером; є – ж – улаштування нового асфальтобетонного шару покриття; з – укочування покриття самохідним гладковальцьовим котком

Рисунок 2 – Технологічна послідовність виконання робіт при відновленні дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу

Заключним етапом є ущільнення шару за допомогою дорожніх котків.

Після завершення цих робіт поверхню дороги можуть покривати додатковим шаром асфальтобетону для забезпечення кращих експлуатаційних характеристик.

### **Переваги використання холодного ресайклінгу**

Технологія холодного ресайклінгу має ряд важливих переваг у порівнянні з традиційними методами ремонту доріг. Перш за все вона дозволяє значно зменшити витрати на будівельні матеріали, оскільки використовується існуючий матеріал дорожнього покриття.

Крім того, скорочуються строки виконання ремонтних робіт, що дозволяє швидше відновити рух транспорту. Важливою перевагою є також зменшення обсягів будівельних відходів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Ще однією перевагою є можливість підвищення міцності дорожньої конструкції. Завдяки використанню сучасних в'язучих матеріалів новий шар дорожнього покриття може мати високі експлуатаційні характеристики та довгий термін служби.

### **Недоліки технології**

Незважаючи на значні переваги, технологія холодного ресайклінгу має і певні обмеження. Її застосування залежить від стану існуючого дорожнього покриття та типу ґрунтів основи дороги. У деяких випадках дорожня конструкція може бути настільки пошкодженою, що використання ресайклінгу стає недоцільним.

Крім того, для виконання таких робіт необхідна спеціалізована техніка та кваліфікований персонал. Це може збільшувати початкові витрати на організацію робіт.

### **ВИСНОВКИ**

Технологія холодного ресайклінгу є сучасним та ефективним методом відновлення автомобільних доріг. Вона дозволяє повторно використовувати матеріали існуючого дорожнього покриття, зменшувати витрати на будівництво та скорочувати строки виконання робіт.

Застосування цієї технології сприяє підвищенню ефективності дорожнього будівництва та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Саме тому холодний ресайклінг все частіше використовується при ремонті та реконструкції автомобільних доріг.

### **Література**

1. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови
2. Міністерство освіти і науки України. Будівництво та експлуатація автомобільних доріг: сучасні технології ремонту. – Київ: МОН України, 2021. – 120 с.
3. Національний інститут розвитку інфраструктури. Застосування технології холодного ресайклінгу в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infra.org.ua> (дата звернення: 14.03.2026).

# АНАЛІЗ ВПЛИВУ І ВЗАЄМОДІЇ РІЗНОМАНІТНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Євдокименко Б.А., ст. групи Д-46-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Фоменко О.О. асистент

[lensanfom@ukr.net](mailto:lensanfom@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Техніко-економічні показники роботи автомобільного транспорту залежать від транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг, на які впливають транспортні навантаження та довілля. Під комплексною дією цих факторів у дорожній конструкції змінюється водно-тепловий режим і виникають напруження. Головною проблемою, з якою стикаються дорожньо-експлуатаційні служби, є виникнення руйнувань та деформацій автомобільних доріг, що призводять до зниження показників експлуатаційної якості доріг (рис. 1) [1].

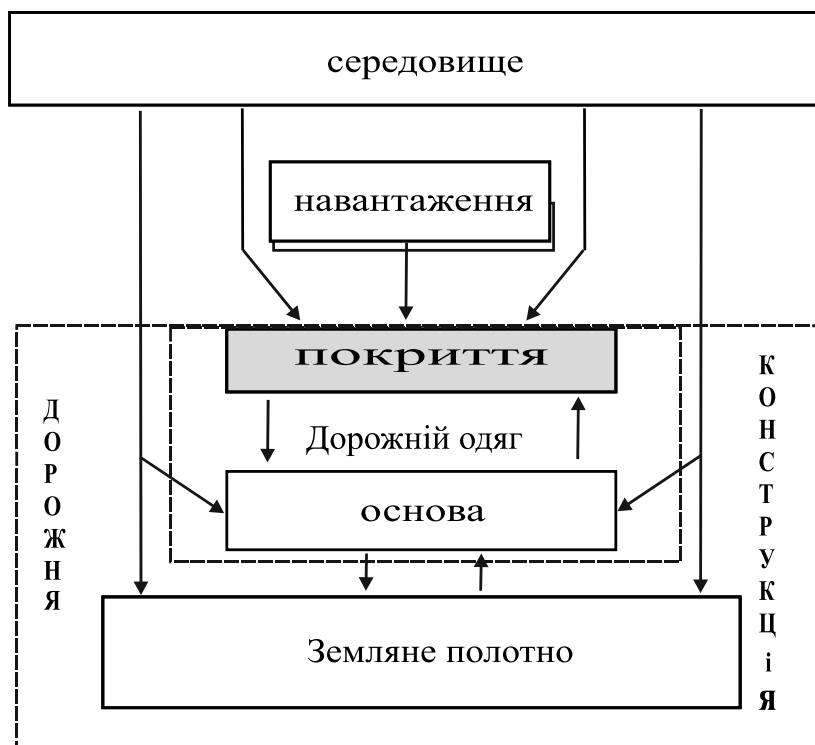


Рисунок 1 – Вплив факторів на дорожню конструкцію

Найбільший вплив на стан доріг та їх характеристики міцності надають рельєф і ландшафт місцевості, ґрунтово-геологічні, гідрологічні та погоднокліматичні фактори, а також динамічні навантаження від руху транспортних засобів [2].

З ґрунтово-геологічних та гідрологічних факторів виділяють тип та характеристики ґрунтів земляного полотна та підстиляючих шарів, рівень та характер залягання ґрунтових вод, умови стоку поверхневої води. необхідні більш жорсткі вимоги до асфальтобетонних сумішей та їх ущільнення.

До погодно-кліматичних факторів відносять: атмосферний тиск, сонячну радіацію, температуру та вологість повітря, опади, вітер, туман, а також їх сполучення.

Ґрунтово-геологічні умови розрізняють залежно від характеру нашарування ґрунтової товщі, виду та властивостей ґрунтів. Умови гідрогеології впливають на вибір оцінок земляного полотна щодо рівня ґрунтових вод. По них судять про можливі зрушення полотна, обвали, розміри можливих проломів і т.п.



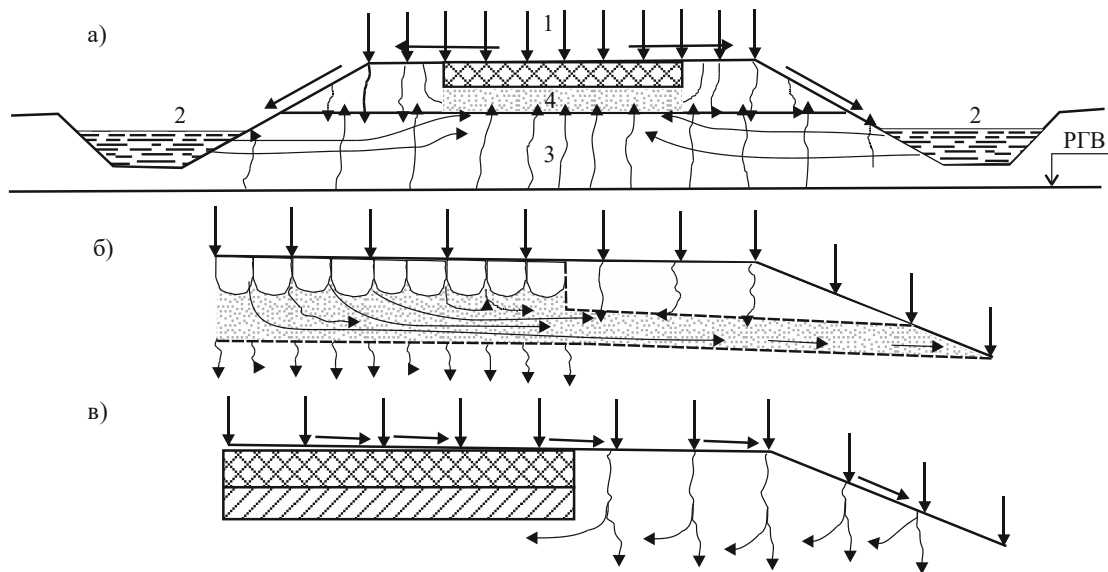
Рисунок 2 – Траса М-05 Київ – Одеса

Кліматичні умови характеризують рівень опадів, вологість повітря, добові та річні зміни температури, напрямок та силу вітрів, та багато іншого [3, 4]. Природні чинники постійно впливають на всі дорожні споруди. Вода здавна вважається найжорстокішим ворогом доріг. Дощі, зливи, потоки води від танення снігу розмивають укоси, канами, підмивають споруду (лотки, підпірні стінки, труби тощо), порушують їх роботу і передчасно руйнують.

Погодно-кліматичні чинники формують водно-тепловий режим земляного полотна – закономірні сезонні зміни вологості та температури в полотні та шарах дорожнього одягу. У дорожній конструкції (дорожній одяг плюс земляне полотно) протікають складні процеси: нагрівання, охолодження, промерзання, відтавання, випаровування, конденсація, сублімація, тобто дифузійні процеси тепла та вологи, названі тепломасоперенесення або тепловологообміном, що зумовлюють коливання вологості та температури. Зміна водно-теплого режиму суттєво впливає на міцність, довговічність полотна та доріг, що призводить до зниження транспортно-експлуатаційних властивостей доріг.

Взаємодія транспортного засобу та дороги є складним процесом, аналізуючи який можна визначити ступінь впливу динамічних характеристик транспортних засобів на міцність дорожньої конструкції.

Водно-тепловим режимом доріг називають закономірність зміни вологості та температури у різних точках дорожнього одягу та земляного полотна з часом [2]. Схема джерел зволоження земляного полотна та дорожнього одягу наведена на рис. 3.



а – зволоження ґрунтової основи дорожнього одягу; б – вплив атмосферних опадів при водопроникному одязі; в – те ж, при водонепроникних одязу  
Рисунок 3 – Схема джерел зволоження земляного полотна та дорожнього одягу

Вплив розглянутих джерел зволоження неоднаковий у різних зонах. Типовий для кожної зони водяний режим зазвичай став пов'язаним з значним впливом одного з факторів. Однак залежно від місцевих ґрунтових умов, рельєфу та рівня стояння ґрунтових вод в окремих місцях кожної зони може отримати перевагу й інше джерело.

При дії тиску від колеса основа дорожнього одягу стискається в межах активної зони, як у поперечному, так і в поздовжньому напрямку, в результаті чого відбувається прогин дорожнього одягу по криволінійній поверхні з утворенням так званої «чаші прогину» (рис. 4) [5].



1 – чаша прогину; 2 – зона стиснення одягу; 3 – зона розтягування; 4 – поверхня зрізу одягу; 5 – площа передачі тиску на ґрунт; 6 – ущільнення ґрунту в основі дорожнього одягу; 7 – напрям стиснення ґрунту; 8 – напрям випирання ґрунту; 9 – тріщини у дорожньому одязі (а – поздовжні; б – поперечні); 10 – деформації дорожнього одягу

Рисунок 4 – Види деформацій та руйнувань дорожнього одягу

## Література

1. Проектування земляного полотна автомобільних шляхів. URL: <https://studfile.net/preview/6762033/page:11/> (дата звернення 20.02.2026).
2. Проектування технології будівництва земляного полотна автомобільних доріг: навчально-методичний посібник / Савенко В.Я., Славінська О. С., Усиченко О. Ю., Фещенко Г. М. Київ: НТУ, 2016. 348 с.
3. Бубела А. В. Дослідження закономірностей зволоження дорожньої конструкції та методи його регулювання. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. ВІП. 105. 2019. 44-48 с.
4. Slavinska, O., Savenko, V., Bubela, A., Yaremov, A. (2018). Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 2. Issue 7-92. 18-26.
5. Кизима С. С. Експлуатація автомобільних доріг. К. : МОНУ/НТУ, 2009. 272 с.

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕГАЮЧИХ БУДІВЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Зелінський О.В., ст. групи Д-41-22*

[zelinsk0917@gmail.com](mailto:zelinsk0917@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Кіяшко І.В., к.т.н., професор,*

[kiv62@ukr.net](mailto:kiv62@ukr.net)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Дорожнє господарство є однією з ресурсомістких галузей господарства країни. У зв'язку з цим особливого значення набуває виявлення та використання всіх резервів ефективності під час виконання ремонтно-будівельних робіт. Тому розробка та впровадження нових інтенсивних ресурсозберігаючих технологій при організації ремонту та утримання доріг є дуже актуальною проблемою.

Виконані дослідження щодо удосконалення, розробки та впровадження інтенсивних ресурсозберігаючих технологій ремонту автомобільних доріг свідчать про необхідність вирішення комплексу взаємопов'язаних проблем, які мають базуватись на системному підході [1].

Основними принципами удосконалення технології виконання ремонтних робіт з насипних зв'язкових ґрунтів, особливо при знижених та негативних температурах повітря, є: облік у взаємозв'язку фізико-механічних та теплофізичних властивостей ґрунту, погодно-кліматичних умов; типу застосовуваних дорожньо-будівельних машин та механізмів; обґрунтованого контролю якості ущільнення, що базуються на аналізі тепломасообмінних процесів, що протікають у відсипаються ґрунтових шарах, і на цій основі теплотехнічних розрахунках, а також обліку складних фізико-механічних процесів, що відбуваються при ущільненні.

Технологія виконання земляних робіт із насипних ґрунтів повинна забезпечити необхідні експлуатаційні якості полотна: міцність, стійкість, довговічність. У цьому випадку можна сказати, що технологія (Т) є функцією, що залежить від типу ґрунту та його властивостей, погодно-кліматичних факторів, застосовуваних дорожньо-будівельних машин, контролю якості, тощо.

$$T = f \sum_1^n N_i = f(\sum C + \sum П + \sum М + \sum К), \quad (1)$$

де С – тип ґрунту та його властивості;

П – погодно-кліматичні чинники;

М – застосовувані дорожньо-будівельні машини;

К – контроль якості.

При проектування технології виконання земляних робіт із насипних ґрунтів необхідно виходити з двох умов:

– забезпечення необхідної міцності шарів ґрунту після ущільнення та відтавання мерзлого ґрунту;

– ваги ущільнювача, що застосується оскільки є багато факторів, що знижують його вплив.

Існуючі способи ремонту нежорстких дорожніх одягів із шарами на основі органічних в'язучих за характером технологічних процесів та зумовлених ними особливостей структуроутворення можна умовно розділити на дві групи: нарощування шарів та регенерація. При аналізі причин руйнування асфальтобетонних покриттів, як правило, не враховують вплив технології ремонту на розвиток у них деформацій та руйнувань, що не дозволяє повно обґрунтувати шляхи удосконалення технологічних процесів. Досі не в повному обсязі вирішено проблеми:

– «приживаності» матеріалу, що знову укладається до існуючого. Тобто, шляхи поліпшення міжшарового зчеплення між поверхнею, що ремонтується і знову укладається матеріалом;

– відсутність загально прийнятих рішень, щодо зниження ймовірності появи відбитих тріщин у тонких кулях посилення, що укладаються;

– немає системи профілактичних заходів, щодо зниження наслідків старіння бітуму в асфальтобетонних покриттях, що призводить до зниження їх деформативності;

– відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення однорідності конструктивних слоїв дорожнього одягу технологічними способами.

Розроблено способи покращення міжшарового зчеплення в контактній зоні, що базуються на положеннях фізико-хімічної механіки з управління процесами структуроутворення дисперсних систем. Пропонується при ремонті за сприятливих погодних умов при підґрунтуванні поверхні, що ремонтується бітумом – попередня активація розчинниками та механічна обробка поверхні. При ремонті в несприятливих погодних умовах – застосування як адгезиву для підґрунтовки поверхні водорозчинних олігомерів, що ремонтується, а при застосуванні в якості адгезиву бітуму – попередня активація поверхні, що ремонтується кремнійорганічними сполуками. Запропоновано технологію ремонту асфальтобетонних покриттів, що виключає появу у шарах посилення відбитих тріщин основи.

Технологія ремонтних робіт на основі регенерації за рахунок повторного використання старого асфальтобетону дозволяє значно знизити матеріаломісткість ремонтних робіт. Поява сучасних машин з руйнування, розігріву та відновлення асфальтобетону, а також його промислової регенерації дозволили запропонувати та використовувати велику кількість нових технологічних процесів при ремонті шарів дорожніх одягів з матеріалів, що застосовують бітум, в основу яких покладено можливість їх руйнування та подальша переробка чи обробка на місці чи на виробництві. За кордоном широкого поширення набула нова технологія відновлення дорожнього покриття – холодний рисайклінг. Комплект машин, що виконує відновлення дорожнього

покриття за новою технологією – холодного рисайклінгу, має дуже високу вартість, тому придбання його в повному обсязі дорожніми організаціями в умовах обмежених фінансових ресурсів є дуже проблематичним. Тому актуальною проблемою є розробка технології регенерації шарів дорожніх одягів із матеріалів, що містять бітум, із застосуванням фрези та подальшою переробкою сфрезерованого матеріалу на місці чи виробничому підприємстві. Одним із шляхів регенерації шарів дорожніх одягів з матеріалів, що містять бітум, є пластифікація в них бітуму. Лабораторні дослідження пластифікації сфрезерованої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші нафтою показали можливість застосування методу холодної пластифікації. Вибір оптимальної кількості пластифікатора залежить від кількості вільного бітуму і знаходиться в межах 10-15 % від маси бітуму. Враховуючи, що пластифікатор повинен рівномірно розподілятися по всьому об'єму суміші, його краще вводити в змішувач впорскуванням підігрітим до температури 80-90 °С. Отримані результати свідчать, що зразки, що зберігалися за температури плюс 20...25 °С інтенсивно набирають міцність в перші 8-12 діб зберігання. Взаємодія нафти з старим бітумом має й інші наслідки, які проявляються у підвищенні водо та морозостійкості, деформативності асфальтобетону, тобто, зазначена взаємодія має омолоджуючий ефект [1]. Оптимізація технологічних режимів роботи ущільнюючих засобів, добавок, що пластифікують і температурних режимів дозволяє керувати процесами структуроутворення в регерованому асфальтобетоні з урахуванням тепломасообмінних процесів, що протікають в ньому, підвищить якість ремонту.

### Література

1. Стороженко М.С. Формування та підвищення технічного рівня міських автомобільних доріг. – Київ УМКВО, 1989 – 92 с.

# ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

*Зінченко Б. С. ст. групи Д-42-22*  
[zbogdans963@gmail.com](mailto:zbogdans963@gmail.com)

*Харківській національній автомобільно-дорожній університет*  
*Арінушкіна О. О. асистент*  
[lenaarinushkina@gmail.com](mailto:lenaarinushkina@gmail.com)

*Харківській національній автомобільно-дорожній університет*

У сучасних умовах розвитку транспортної інфраструктури особливої актуальності набуває забезпечення належного технічного стану автомобільних доріг, що безпосередньо впливає на безпеку руху, економічну ефективність перевезень і загальний рівень розвитку держави. Зростання інтенсивності транспортних потоків, збільшення навантаження на дорожнє покриття, а також наявність фінансових ресурсів обумовлюють необхідність впровадження інноваційних технологій, які дозволяють підвищити довговічність доріг при зменшенні витрат. Одним із перспективних і ефективних напрямів у цій сфері є застосування у якості захисних шарів зносу литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС), що широко використовуються як при будівництві нових автомобільних доріг, так і при їх реконструкції та капітальному ремонті. Використання ЛЕМС дозволяє знизити витрати на утримання доріг на 20-30 % та подовжити міжремонтний період до 5-8 років.

Історично розвиток цієї технології розпочався ще у першій половині ХХ століття, коли проводилися перші експерименти із використанням сумішей мінеральних матеріалів і бітуму. Важливим етапом стало впровадження водних бітумних емульсій, що дозволило перейти до холодних способів укладання. Подальший прогрес був пов'язаний із удосконаленням емульгаторів, впровадженням полімерних добавок та розвитком спеціалізованого обладнання. Сутність цієї технології полягає у нанесенні пластичної суміші на підготовлену дорожню поверхню з утворенням тонкого шару покриття. Після укладання відбувається руйнування емульсії, випаровування води та формування бітумної плівки, яка забезпечує зчеплення мінеральних частинок між собою. Важливою особливістю є здатність суміші до самоущільнення, що дозволяє уникнути використання важкої ущільнювальної техніки.

У будівництві нових доріг ЛЕМС на модифікованих бітумних емульсіях застосовуються для влаштування тонких захисних шарів зносу (ЗШЗ) товщиною 10-40 (50) мм, на немодифікованих бітумних емульсіях – для влаштування надтонких ЗШЗ товщиною 5-10 (15) мм. Це зокрема підвищує шорсткість, водонепроникність і зносостійкість дорожнього покриття, попереджає утворення руйнувань чим забезпечує стабільні транспортно-експлуатаційні показники. Захисні шари зносу влаштовуються на щєбєневих основах із

розклинюванням або просоченням при новому будівництві згідно з ДБН В.2.3-4:2015 [1].

Технологія литих емульсійно-мінеральних сумішей належить до класу холодних дорожніх технологій, які не потребують попереднього нагрівання матеріалів. Це суттєво знижує енерговитрати та мінімізує негативний вплив на довкілля.

Литі емульсійно-мінеральні суміші є складною багатокомпонентною системою, у якій кожен елемент виконує визначену функцію. Основу ЛЕМС становить мінеральний скелет, сформований із щебеню та піску з відповідним гранулометричним складом.

Якість мінерального заповнювача має вирішальне значення, оскільки саме він визначає міцність і зносостійкість покриття. Перевага надається щебеню кубовидної форми з високими показниками міцності та низькою лещадністю, що забезпечує надійне зчеплення зерен. Орієнтовна витрата литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) на площу 1000 м<sup>2</sup> залежить від крупності щебеню: при максимальному розмірі зерен до 5 мм вона становить 6-8 т, а при розмірі зерен до 10-15 мм – близько 10 т.

В'язучим компонентом виступає бітумна емульсія, яка є дисперсною системою бітуму у водному середовищі. Для покращення експлуатаційних характеристик до її складу вводять полімерні модифікатори, які підвищують еластичність і стійкість до деформацій.

Додатково використовуються мінеральні добавки, такі як цемент або вапно, що регулюють процес тверднення та стабілізують суміш. Вода забезпечує необхідну рухливість під час укладання, а спеціальні хімічні добавки дозволяють контролювати швидкість розпаду емульсії залежно від температурних і погодних умов.

Завдяки використанню міцних мінеральних матеріалів, а також високим показникам адгезії та когезії в'язучого, такі суміші забезпечують необхідну шорсткість, підвищену зносостійкість покриття та сприяють збільшенню терміну служби захисних шарів. Рекомендований склад компонентів регламентується ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 [2].

Технологічний процес влаштування покриття з використанням ЛЕМС включає кілька взаємопов'язаних етапів. Насамперед здійснюється підготовка основи, яка передбачає очищення поверхні від пилу, бруду та сторонніх матеріалів. У разі необхідності виконується попередня обробка бітумною емульсією для покращення адгезії нового шару. Перед улаштуванням захисних шарів зносу з ЛЕМС, у випадках коли підгрунтовка не проводиться, а температура поверхні існуючого покриття перевищує 30 °С, покриття необхідно обов'язково зволожити водою з витратою 0,2-0,3 л/м<sup>2</sup>.

Приготування суміші відбувається безпосередньо на місці виконання робіт із використанням спеціалізованих змішувачів-укладальників. Перед початком виконання робіт здійснюють калібровку змішувальної установки на відповідність лабораторно підбраному складу ЛЕМС, а також встановлюють оптимальну швидкість руху укладальної машини для забезпечення рівномірного

та якісного розподілу суміші по поверхні покриття. У цих установках компоненти дозуються з високою точністю та перемішуються.

З урахуванням змін зовнішніх умов під час укладання ЛЕМС необхідно регулювати процес розпаду емульсії та консистенцію суміші шляхом коригування кількості води і розчину добавки–регулятора, що впливає на швидкість її формування, тоді як витрати інших компонентів залишаються сталими.

Особливістю процесу є обмежений час придатності суміші, тому її приготування та укладання здійснюються одночасно, що потребує чіткої організації робіт [3].

Товщина шару визначається типом суміші та призначенням покриття згідно з [2]. Захисні шари зносу з ЛЕМС можуть складатись з одного шару товщиною до 10 мм або з двох шарів сумарною товщиною до 25 мм.

Після укладання відбувається процес тужавіння, що включає руйнування емульсії, випаровування води та набір міцності. Для литих емульсійно-мінеральних сумішей процес ущільнення не передбачається.

З метою забезпечення безперервного руху транспорту влаштування покриття з ЛЕМС доцільно виконувати поетапно – на одній половині проїзної частини або окремими смугами. Проведення робіт із улаштування захисних шарів зносу допускається за умови, що температура повітря становить не нижче 5 °С.

Догляд за укладеним шаром полягає у регулюванні руху (без розворотів) та обмеженні швидкості руху транспортного потоку після відкриття руху до 40 км/год протягом 2-8 год.

Висока швидкість виконання робіт і можливість швидкого відкриття руху дозволяють зменшити соціально-економічні втрати оскільки при використанні ЛЕМС на модифікованій бітумній емульсії із спеціальними хімічними добавками, що забезпечують більш швидке формування суміші, відкриття руху може відбуватися вже через 1–3 год після укладання [4].

Подальший розвиток технології литих емульсійно-мінеральних сумішей пов'язаний із удосконаленням складу сумішей, впровадженням полімермодифікованих емульсій, гармонізацією нормативної бази з міжнародними стандартами та підвищенням рівня контролю якості.

Важливим напрямом є також проведення наукових досліджень щодо оптимізації гранулометричного складу та фізико-механічних характеристик матеріалів.

Проблематика ЛЕМС як превентивного методу утримання дорожніх покриттів розглядається у роботі [5], де проведено оцінку результативності застосування цієї технології на основі експлуатаційних показників.

Результати свідчать, що дана технологія є доцільною для запобігання розвитку дефектів на ранніх стадіях, зокрема утворення тріщин і втрати шорсткості.

Водночас наголошується, що ефективність заходу значно знижується у випадку застосування на покриттях із суттєвими структурними пошкодженнями.

Таким чином, аналіз сучасних наукових джерел свідчить про комплексний характер розвитку технологій литих емульсійно-мінеральних сумішей, який охоплює як матеріалознавчі аспекти, так і питання ефективності, економічності та екологічності їх застосування.

### Література

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, Мінрегіонбуд України, 2015. 104 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг. Київ, Державний стандарт України, 2017. (ДП «УкрНДНЦ»).
3. СОУ 42.1-37641918-119:2014. Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови. Київ, 2014.
4. Копинець І. В., Малій Т. С. Порівняльний аналіз вітчизняних та європейських вимог до литих емульсійно-мінеральних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 114-127. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.114>.
5. Broughton B., Lee S.-J., Kim Y.-J. 30 Years of microsurfacing: a review. *ISRN Civil Engineering*. 2012. Vol. 2012. P. 1-7. URL: <https://doi.org/10.5402/2012/279643>.

# АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ WARM MIX ASPHALT (WMA), ЯК АЛЬТЕРНАТИВА HOT MIX ASPHALT (HMA)

Кияненко М.В., ст. групи Д-47-22,

[komfik920@gmail.com](mailto:komfik920@gmail.com)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Тетера В.С., асистент

[vl1470@ukr.net](mailto:vl1470@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасне дорожнє будівництво стикається з низкою викликів: необхідністю зниження викидів вуглецю, подорожчанням енергоносіїв та жорсткими вимогами до довговічності покриттів. Традиційна технологія гарячих асфальтобетонних сумішей (HMA), яка передбачає температуру приготування 150–180 °С, є енергоємною та супроводжується значними викидами летких органічних сполук. Альтернативою виступає технологія теплих асфальтобетонних сумішей (WMA), що дозволяє знизити температуру виробництва та укладання до 100–140 °С без погіршення технологічних властивостей [1].

Гаряча асфальтова суміш (HMA) є важливим компонентом у будівництві та обслуговуванні доріг, забезпечуючи пружну та гнучку поверхню, яка витримує різні навантаження та умови навколишнього середовища. Як один з найпоширеніших матеріалів у дорожньому будівництві, його довговічність має першорядне значення для забезпечення довговічності та безпеки наших доріг.[2]

**Гаряча асфальтова суміш** виготовляється шляхом нагрівання заповнювачів та бітуму до високих температур, зазвичай від 150 °С до 190 °С. Тепло забезпечує ретельне покриття та зв'язування заповнювачів, в результаті чого утворюється щільний та міцний матеріал для дорожнього покриття.



Рисунок 1 – Укладання гарячої асфальтобетонної суміші

### ***Переваги гарячої асфальтової суміші:***

- **Висока міцність та довговічність:** НМА забезпечує відмінну якість покриття, здатне витримувати великі навантаження від важкого транспорту.
- **Термін служби:** При правильному укладанні та регулярному обслуговуванні служить 15–20 років і більше.
- **Швидке відкриття руху:** Завдяки швидкому остиганню та затвердінню, рух можна відкривати відразу після остигання ущільненої асфальтобетонної суміші, що скорочує час простою доріг.
- **Екологічність (вторинна переробка):** Асфальтобетон є одним із матеріалів, що переробляються, його можна використовувати повторно на 100 %.
- **Гнучкість:** асфальтобетонна суміш подвижна, рухома і в результаті ущільнення, утворюючи стійке, але гнучке покриття.

### ***Недоліки гарячої асфальтової суміші :***

- **Залежність від погоди:** Вимагає сухих та теплих погодних умов для укладання, оскільки холод чи волога заважають правильному ущільненню.
- **Складність транспортування та укладання:** Суміш повинна бути укладена, поки вона гаряча (зазвичай вище), що потребує логістичної чіткості.
- **Екологічні та робочі проблеми:** Виробництво пов'язане з високим споживанням енергії, виділенням диму та шкідливих викидів.
- **Не підходить для дрібного ремонту взимку:** У холодну пору року або для швидкого ремонту ямки, який повинен триматися відразу, гарячу суміш використовувати не можна (використовується холодний асфальт).

Тепла асфальтова суміш (WMA) відрізняється від гарячої асфальтової суміші (НМА) головним чином тим, що забезпечує нижчі температури виробництва та ущільнення асфальтобетону, які можуть бути на 20-40 °С нижчими, ніж при застосуванні НМА. Однак WMA пропонує ряд ключових переваг порівняно з традиційними НМА, окрім зниження температури [3].



Рисунок 2 – Укладання теплої асфальтобетонної суміші

Ключовий принцип технології (WMA) полягає у зниженні в'язкості бітумного в'язучого при знижених температурах, що забезпечує повноцінне обволікання зерен мінеральних матеріалів та достатню зручність укладання

суміші. Це досягається трьома основними способами: спінюванням бітуму, використанням органічних добавок (воску) або застосуванням хімічних добавок поверхнево-активних речовин (ПАР).

Склад (WMA) подібний до (HMA) і складається з компонентів:

- **Мінеральні заповнювачі** : щебінь різних фракцій, відсів.
- **Бітум** : в'язуча речовина, яка зв'язує суміш разом.
- **Добавки** : Вони є вирішальними в WMA для забезпечення нижчих температур змішування. Добавки можна розділити на три основні типи:
  - **Хімічні добавки** : вони змінюють в'язкість бітуму, що полегшує його змішування з заповнювачами за нижчих температур (Evotherm, LowTherm 4G, АДБІТ-Н).

- **Органічні добавки** : зазвичай до них належать воски, що знижують температуру, за якої бітум стає текучим (Sasobit, Licomont).

- **Добавки на водній основі** : вони створюють ефект піноутворення в бітумні, зменшуючи його в'язкість і дозволяючи змішувати за нижчої температури (ProActive).

#### ***Переваги теплої асфальтової суміші:***

**Енергоефективність:** Нижчі робочі температури (температура укладання) дозволяють значно економити енергоресурси.

**Екологічність:** Зменшення викидів парникових газів на 20-35% порівняно із застосуванням HMA, а також запаху при виробництві та укладанні.

**Краще ущільнення:** WMA легше ущільнюється навіть при нижчих температурах, що важливо при ремонтних роботах.

**Технологічність:** Можливість транспортування на більші відстані та продовження сезону дорожніх робіт.

Безпечніші умови праці:

Робота з WMA, ймовірно, буде здоровішим досвідом для виробничих та будівельних бригад, які працюють з матеріалами. Через вищі температури традиційні HMA виробляють більше диму, випарів та пилу, ніж під час роботи зі сумішами WMA. Згідно з EAPA, зниження температури ущільнення всього на 25 ° C може зменшити викиди випарів на 75%. Зниження температури ущільнення також призводить до менш агресивних та задушливих умов на робочому місці. Зменшення викидів від впровадження WMA також призводить до покращення якості повітря як для працівників, так і для навколишньої території. [4]

#### ***Недоліки теплої асфальтової суміші:***

- **Економічні витрати:** Вища вартість матеріалів та хімічних добавок порівняно з гарячими асфальтобетонними сумішами.

- **Чутливість до вологості:** Через знижену температуру виробництва існує ризик недостатнього висихання суміші, що може призвести до зниження адгезії між бітумом та щебенем і, як наслідок, до утворення «ямковості» .

- **Ризик колієутворення:** WMA може бути менш жорстким у ранньому віці, що іноді призводить до зниження опору колієутворенню під навантаженням (збільшується схильність до пластичних деформацій).

- **Складність контролю якості:** Потребує суворого контролю температури та дозування добавок.

Технологія Warm Mix Asphalt є технологічно зрілою та економічно обґрунтованою альтернативою гарячим асфальтобетонним сумішам. Вона дозволяє:

1. Знизити енергоспоживання та викиди парникових газів у процесі виробництва;

2. Покращити умови праці персоналу завдяки зменшенню димовиділення;

3. Забезпечити високу якість ущільнення при подовженні сезону будівництва;

4. Зменшити термічне старіння бітуму, що потенційно підвищує довговічність покриття.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію технології до місцевих матеріалів (бітумів, місцеві вапнякові заповнювачі) та розробку нормативної бази для контролю якості WMA в Україні.

### Література

1. D'Angelo, J., et al. (2008). Warm-Mix Asphalt: European Practice. FHWA-PL-08-007. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
2. <https://roadways.au/exploring-the-durability-of-hot-mix-asphalt/>.
3. <https://gemini.google.com/>.
4. [3.sripath.com/warm-mix-asphalt-pros-and-cons-of-wma-technology-in-paving/](http://3.sripath.com/warm-mix-asphalt-pros-and-cons-of-wma-technology-in-paving/).

# РЕМОНТ І ВІДНОВЛЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕГЕНЕРАЦІЇ

*Клименко Р.М., ст. групи Д-41-22*

*Левандовський А. М., ст. групи Д-41-22*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Сєдов А.В., к.т.н., доцент*

*[avs.1708@ukr.net](mailto:avs.1708@ukr.net)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

При капітальному ремонті автомобільних доріг знаходять поширення методи регенерації та повторного використання матеріалів дорожнього одягу. Регенерація асфальтобетонних покриттів вигідно відрізняється від традиційних способів ремонту насамперед своєю економічністю. Ця технологія дозволяє найбільш ефективно використовувати матеріал старого дорожнього одягу (рис. 1), усувати тріщини у старому покритті на всю або більшу частину глибини, що уповільнює появу тріщин на новому покритті [12].

Регенерація – відновлення властивостей міцності, рівності, суцільності і т.п. Стосовно асфальтобетону регенерація – це обробка або переробка старого асфальтобетону з метою корисної зміни деяких його властивостей.



Рисунок 1 – Матеріал старого дорожнього одягу

Слід розрізняти близькі між собою терміни регенерації та повторне використання матеріалів старого покриття, яке в зарубіжній літературі називається рисайклінг або рециклінг (рис. 2) [1, 2].

Рисайклінг або рециклінг – повторне використання матеріалів старого покриття без регенерації (відновлення або покращення) властивостей цього матеріалу (наприклад, гранулят старого асфальтобетону може бути використаний для зміцнення узбіччя).

Регенерація ж передбачає обов'язкове відновлення властивостей матеріалу та його повторне використання.



Рисунок 2 – Способи відновлення асфальтобетонних покриттів

Проведений аналіз показав, що з урахуванням основних видів пошкоджень доріг найбільше доцільно використовувати технологію холодної регенерації в установці.

Дана технологія як спосіб ремонту дорожнього одягу має низку очевидних переваг (рис. 3) [3]:



Рисунок 3 – Переваги та недоліки різних технологій регенерації.

1. Виключена необхідність вивезення матеріалу старого покриття, що видаляється, і доставки свіжої гарячої асфальтобетонної суміші.

2. Не потрібно складувати віддалений матеріал поблизу ділянки, що ремонтується, що не завжди можливо, особливо в місті.

3. Не потрібно розігрівати старе покриття до «блакитного серпанку», як це робилося за технологією гарячої термофрезерної регенерації, що важливо як з погляду економії енергії, так і охорони навколишнього середовища.

4. Витрата бітуму набагато менше, ніж при облаштуванні нового покриття.

5. Повністю використовується старий кам'яний матеріал (для поліпшення зернового складу асфальтобетонної суміші до нього може бути доданий новий щебінь) [4].

Технологія холодної регенерації конструктивних шарів дорожнього одягу полягає у подрібненні покриття (у деяких випадках із захопленням частини основи) переважно за допомогою холодного фрезерування; введення в асфальтобетонний гранулят, що утворився при необхідності нового скелетного в'язучого матеріалу (як правило, бітумною емульсією, рідше спіненого бітуму) і, якщо потрібно, інших добавок; перемішування всіх компонентів з одержанням асфальтогранулобетонної суміші; розподіл її у вигляді конструктивного шару і ущільнення, після чого асфальтогранулобетонна суміш перетворюється на асфальтогранулобетон (АГБ).

АГБ використовується для створення нижнього або верхнього шару основи дорожньої конструкції під подальшу обробку або укладання шару покриття.

Класифікація асфальтогранулобетонів:

- за типом в'язучого компонента;
- без додавання в'язучого компонента;
- з додаванням аніонної або катіонної бітумної емульсії;
- з додаванням спіненого бітуму;
- з додаванням розігрітого бітуму (БНД різних марок);
- з додаванням мінерального в'язучого (портландцемент, вапно);
- з додаванням комплексного в'язучого (бітумна емульсія та портландцемент).

Бітум і матеріали на його основі використовуються для посилення зв'язків між окремими зернами асфальтового грануляту і скелетного матеріалу (щебню), що додається, а також заповнення міжзернового простору з метою зменшення водонасичення асфальтогранулобетону [5].

Цемент, що утворює при змішуванні з водою цементний камінь, використовується для заповнення міжгранулярних порожнин асфальтогранулобетонної суміші та посилення міжзернових зв'язків.

Найбільш практичними є ті асфальтогранулобетонні суміші, для зміцнення яких використовується катіонна бітумна емульсія або спінений бітумом у поєднанні з портландцементом [5]:

– за масовою часткою щебню або гравію вихідного асфальтобетону, що входить до складу:

– щебневий асфальтогранулобетон – вміст щебню від 35 %.  
Застосовується при реконструкції та асфальтуванні автомобільних доріг I–II категорії;

– піщаний асфальтогранулобетон – вміст щебню менше 35 %. Застосовується при реконструкції та асфальтуванні автомобільних доріг III–IV категорії.

Практичне застосування асфальтогранулобетону.

Залежно від товщини шару і типу в'язучого компонента, відновлена із застосуванням асфальтогранулобетону дорожня основа, може виступати як верхній або нижній шар дорожнього одягу. Мінімальна товщина асфальтогранулобетонного шару має бути 6 см, максимальна ж обмежується можливістю ущільнення. Залежно від ступеня навантаження на дорожню основу та величини транспортного потоку, поверх асфальтогранулобетонного шару проводиться укладання одного або двох шарів асфальтобетону товщиною від 4 до 11 см. Асфальтування поверх асфальтогранулобетонного шару на основі цементу, виконується через 2-3 доби після його укладання [5].

Асфальтування поверх асфальтогранулобетонного шару на основі бітумної емульсії, виконується через 3-4 тижні після його укладання.

Укладання асфальтогранулобетону здійснюється за температури навколишнього повітря не менше плюс 10 °С.

### Література

1. Терещенко Т.А. Аспекти успішного впровадження промислового гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону. URL: <https://surl.lt/vrriyc> (дата звернення: 15.03.2026).
2. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти .
3. ТТР 42.1-37641918-418:2017 Типовий технологічний регламент на ви-готовлення бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти.
4. Терещенко, Т.А. Шляхи розвитку технологій гарячого ресайклінгу до-рожнього асфальтобетону [Текст] / Т.А. Терещенко // Автошляховик України. 2014. № 2. С. 42-48. Бібліогр.: с. 48.
5. Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет С7/8 «Дорожні покриття». Рециклювання дорожніх одягів. Частина 3. Посібник з гарячого рециклювання асфальтобетону зі старих покриттів на заводі / Пер. з рос. В. Жданюка. Під заг. ред. В. Жданюка і Д. Сибільського. Х.: Вид-во ХНАДУ, 2006. 52 с.

# СУЧАСНА ГЕОСИНТЕТИКА ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ УКОСІВ НАСИПІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Костюк І.Ю., ст. групи Д-46-22*

*[kostukilona76@gmail.com](mailto:kostukilona76@gmail.com)*

*Покаместов М.Ю., ст. групи Д-46-22*

*[makkspockamestov@gmail.com](mailto:makkspockamestov@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Арінушкіна Н.С., к.т.н., доцент*

*[nataliaarinushkina@gmail.com](mailto:nataliaarinushkina@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

На сучасному етапі будівництва автомобільних доріг для укріплення укосів земляного полотна широко застосовуються різні геосинтетичні матеріали.

Комплекс опоряджувальних робіт складається з планування укосів, бокових каналів і дна резервів, а також їх укріплення від розмивання водою та видування вітром. Укріплення укосів суттєво впливає на стійкість і довговічність земляного полотна.

Конструкції укріплення земляного полотна вибирають в залежності від характеру дії природних факторів (швидкості води, вітру), кліматичних умов, властивостей ґрунтів земляного полотна, наявності місцевих матеріалів придатних для укріплення, можливості механізації робіт з урахуванням розмірів та ухилів укосів [1].

Найбільш поширеним та економічним типом укріплення є створення дернового покриву шляхом висівання трав. Для укріплення укосів глибоких виїмок та високих насипів використовують решітчасті укріплення з збірних залізобетонних елементів, на підходах до мостів та конусах шляхопроводів влаштовують суцільні захисні шари з збірного або монолітного залізобетону.

Окрім традиційних видів укріплення укосів земляного полотна використовують різні геосинтетичні матеріали та габіони.

Габіонні конструкції представляють собою об'ємні контейнери з металеві оцинкованої сітки подвійного кручення.

Геосинтетичні матеріали це клас будівельних матеріалів, що розрізняються за структурою, технологією виробництва, показниками властивостей, складом сировини та можуть бути представлені у вигляді полотен, сіток, решіток, об'ємних виробів, геоматів, тощо [2].

В процесі виконання укріплювальних робіт при будівництві земляного полотна застосовують: об'ємні решітки, геомати, габіони, та матраци Рено.

Георешітка – це геосинтетичний матеріал, виконаний у вигляді сотової конструкції з висотою осередків від 5 до 20 см та отриманий шляхом скріплення між собою суцільних або перфорованих полімерних стрічок, які з'єднані зварним швом [3].

Загальний комплекс технологічних процесів зміцнення поверхні укосів із застосуванням об'ємної георешітки включає: підготовчі роботи, розбивочні

роботи, укладання нетканих рулонних синтетичних матеріалів та їх закріплення на поверхні укосу, укладання георешітки з фіксацією монтажними анкерами, укладання в осередки георешітки матеріалу заповнювача, розрівнювання, планування та ущільнення матеріалу заповнювача; висівання насіння трав у разі заповнення осередків об'ємної георешітки рослинним ґрунтом.

Укріплення укосів та конусів шляхопроводів георешіткою наведено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Укріплення укосів та конусів шляхопроводів георешіткою

Перевагами застосування георешіток є: легкість транспортування, швидкий монтаж, можливість використання для укладання на криволінійній поверхні, довговічність, можливість комбінації з озелененням.

Недоліком застосування георешіток є можливість використання для зміцнення укосів з кутом нахилу до 60 градусів.

Геомат – це еластичний дрібнопустотний матеріал з хаотично переплетених полімерних ниток (поліпропіленових або поліамідних).

Геомати призначені для захисту укосів від ерозійних процесів (вимивання дощовою водою), відновлення родючого шару та рослинного покриву, а також захисту берегів водойм з ухилом до 35 градусів.

У своїй структурі, геомати мають більше 90 % порожнин, що дозволяє акумулювати на собі частинки ґрунту та перешкоджає ерозії поверхневого шару ґрунту. Заповнення порожнеч геомата ґрунтом сприяє росту трав'яного покриву та надає укріпленому укосу природного вигляду.

Технологія укладання геомату дуже проста – планування ґрунту, розкочування геомату на укосі, з'єднання в нахлист сусідніх смуг, встановлення анкерів і засипання тонким шаром ґрунту. Висаджена трава кореневищами проростає через геомат і дуже надійно закріплює його на укосі. Укріплення укосів геоматами представлено на рисунку 2.

Перевагами застосування геомату є легкість транспортування і монтажу, довговічність, використання для зміцнення укосів з кутом нахилу до 70 градусів.

Недоліком застосування геомату з озелененням є збільшення вартості робіт на ділянках з неродючим ґрунтом.



Рисунок 2 – Укріплення укосів геоматами

Для укріплення укосів використовують також габіонні конструкції (об'ємні контейнери з металевої оцинкованої сітки подвійного кручення, з шестикутними осередками, при виготовленні плетених габіонів і квадратними осередками, при виготовленні зварних габіонів). Подвійне кручення забезпечує цілісність, міцність, рівномірний розподіл навантаження та запобігання розкручування в разі розривання сітки.

Габіони поділяються на коробчасті, коробчасті з армуючою панеллю, матрацні, циліндричні.

Для встановлення габіонів необхідно, щоб поверхня біля підоснови укосу була рівною та ущільненою для запобігання просіданню в процесі експлуатації.

Монтаж габіонів нескладний та невитратний за часом. Модулі викладаються рядами, утворюючи стінку і скріплюються між собою як у цегляній кладці.

До переваг застосування габіонів відноситься максимальна ефективність укріплення, максимальна стійкість до навантаження, тривалий термін експлуатації, можливість застосування при зміцненні вертикальних схилів.

Недоліком застосування габіонів є використання спеціальної будівельної техніки при виконанні монтажних робіт.

Укріплення природніх укосів габіонами представлено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Укріплення природніх укосів габіонами

При використанні матраців Рено (плоскі габіонні конструкції), можливе укріплення укосів з ухилом до 45 градусів. Ширина одного матраца становить 2 м, довжина – від 3 м до 6 м, висота – від 17 см до 30 см.

Зміцнення укосів матрацами Рено дозволяє повністю захистити ґрунт від будь-яких механічних впливів – вимивання, обсіпання, гравітаційних зрушень. Кам'яний матеріал матрацу уповільнює потоки води на укосах і захищає від ударів дощу, проте дозволяє воді вільно просочуватися.

Встановлення матраців потребує рівної поверхні. Як розділовий шар між ґрунтом і габіонами укладається геотекстиль. При великих об'ємах робіт роботи проводяться з використанням будівельної техніки.

До переваг застосування відноситься ефективність роботи, стійкість до навантажень, великий термін експлуатації, до недоліків – складність монтажу та використання на укосах з кутом ухилу до 45 градусів.

Укріплення укосів насипів та конусів мостів наведено на рисунку 4.



Рисунок 4 – Укріплення укосів насипів та конусу мостів матрацами Рено

Економічна перевага застосування сучасних матеріалів для укріплювальних робіт обумовлена зниженням матеріалоемності традиційних ґрунтових матеріалів або залізобетону, вартість яких підвищується з кожним роком в зв'язку з тим, що природні ресурси обмежені та збільшується вартість транспортування.

Геосинтетичні матеріали набули великої популярності завдяки розширенню їх асортименту та напрямів застосування, появі нових прогресивних способів і технологій виробництва, використанню нових видів сировини.

Таким чином виробництво та використання таких матеріалів поліпшить екологічний стан навколишнього середовища, попередить виникнення вітрової та водної ерозії укосів земляного полотна, які є основною причиною деформації земляного полотна та руйнування автомобільної дороги в цілому.

#### Література

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Київ, 2015. 104 с.
2. ГБН В.2.3-37641918-544:2014. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. [Чинний від 2015-01-01]. Київ, 2014. 143 с.
3. Першаков В.М., Белятинський А.О., Стефашина Н.М. Використання геосинтетичних армуючих прошарків в дорожньому будівництві. *Науково-технічний збірник. Проблеми розвитку міського середовища*. 2020. № 2(25). С. 130–149.

# ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОЯВИ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

*Лебідь А.А., ст. групи Д-46-22*

[antonlebed03@iCloud.com](mailto:antonlebed03@iCloud.com)

*Явтуховська І.О., ст. групи Д-46-22*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

[ilonkaavtuhovska@gmail.com](mailto:ilonkaavtuhovska@gmail.com)

*Науковий керівник: Аринушкіна Н.С., к.т.н., доцент*

[nataliaarinushkina@gmail.com](mailto:nataliaarinushkina@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Дорожня розмітка – невід'ємна частина сучасної транспортної інфраструктури та відіграє важливу роль в забезпеченні безпеки дорожнього руху. В даний час кількість автомобілів зростає у всьому світі, навантаження на дорожнє покриття збільшується з кожним днем, і якість дорожньої розмітки відіграє важливу роль у підвищенні безпеки дорожнього руху. Дорожня розмітка являє собою систему ліній, знаків певних кольорів, розмірів, форми, які нанесені на дорожнє покриття та елементи облаштування доріг і призначена для регулювання руху транспортних засобів та пішоходів на дорозі у будь-який час доби та робить рух більш безпечним та зручним.

Виникнення дорожньої розмітки відбулося в давні часи, коли будувалися перші дороги у Греції та Римі, у стародавньому Мехіко та інших містах [1, 2].

Дороги як засіб регулярних сполучень і перевезень на далекі відстані виникли в рабовласницьких державах Стародавнього світу – Ассирії, Вавілоні, Персії і набули найбільшого розвитку в Римській імперії. У Стародавньому Римі почали будувати дороги з бруківки для громадського транспорту, які надалі поширилися на Італію та її провінції. Зі збільшенням території римської держави збільшувалася довжина доріг і надалі римляни стали розділяти дороги у великих містах на проїзну частину та тротуари для пішоходів. Ще на вулицях давньоримських міст, по осі доріг викладені білим каменем лінії, які розділяли смуги зустрічного руху (рис.1). Центральна лінія, викладена вапняком, була присутня і на дорогах, побудованих ацтеками в XVI столітті (на території стародавнього Мехіко).

Історія поздовжньої розмітки (розділової лінії) починається з появи асфальтобетонних автомобільних доріг. Вперше біла смуга посеред дороги з'явилась у США. До автомобільного буму, спричиненого появою відносно доступних широкому загалу машин компанії Ford, кількість автомобілей у Європі (де їх на той час було найбільше) та США була мізерною, порівняно з гужовим транспортом. За одне десятиліття (1907-1917 р.р.) індустрія здійснила колосальний стрибок вперед, кількість автомобілів на дорогах перевищила кількість карет та діліжансів. У 1910 році на 1000 американців припадало лише

5 автомобілів. Вже у 1920 році на кожну тисячу жителів у країні було 86 автомобілів. Разом з кількістю, росли і швидкості, на яких пересувались автомобілі, що створювало все більшу небезпеку для учасників нерегульованого дорожнього руху. Протягом другої декади ХХ століття у США щороку відбувалось більше 10 тисяч смертельних аварій за участю автомобілів.



Рисунок 1 – Розділова лінія, викладена білим каменем, на вулицях давньоримських міст

Також поперечна розмітка (пішохідний перехід) почала своє існування в епоху Римської імперії. Коли дорогами ще їздили колісниця, запряжені кіньми, постала необхідність створення пішохідного переходу, але не через потребу в безпечному перетині дороги.

Незважаючи на відкриття античних вчених у більшості сфер життя – від будівництва до науки і мистецтва, перед ними все ще гостро стояла проблема антисанітарії. Тому непривабливою реалією життя стародавніх римлян була ситуація, коли вулиці були забруднені стікаючими каналізаційними відходами, нечистотами та брудом. Коли місцеві жителі перетинали дорогу, взуття та ноги переставали бути чистими та сухими.

У Стародавньому Римі для зручності пішоходів викладали на вулицях перпендикулярно тротуару великі плоскі камені на невеликій відстані один від одного. Причиною такого рішення стала всюди завалена кінським гноєм проїзна частина.

На той момент таке рішення вважалось по-справжньому революційним, адже таким нестандартним шляхом чітко було позначено місця для переходів з одного боку вулиці до іншого. При цьому проміжки між каменями були передбачені такої ширини, щоб і переступати було неважко, і колісниця могли вільно проходити (рис. 2).



Рисунок 2 – Пішохідний перехід у Стародавньому Римі

Так як на початку ХХ століття стали з'являтися бюджетні та популярні транспортні засоби, то в США вперше виникли конфлікти між тими, хто керував машинами, та тими, хто просто йшов дорогою.

Численні аварії за участю пішоходів відзначалися у США вже у 1920 роках, коли спостерігалось зростання кількості автомобілів. Винуватцями майже завжди визнавали водіїв. Ці випадки завжди описували в газетах, щоб викликати резонанс у суспільстві. Найбільш популістським рішенням у 1920 роках було обмеження швидкості до 25 миль/год або 40 км/год.

Але виробники вирішили завдати удару у відповідь і ввести обмеження не для автомобілістів, а для пішоходів. Це була перша спроба урегулювання руху. Тоді було видано закон, який отримав назву Model Municipal Traffic Ordinance. Він обмежував вільний рух людей і зобов'язував їх перетинати дорогу під прямим кутом. До справи швидко підключилися газетярі та автомобільні концерни. Вони викривали порушників-пішоходів, а у разі ДТП перекладали провину на останніх.

Тому безпосереднє виникнення пішохідних переходів у звичному нам вигляді сталося порівняно недавно – у тридцятих роках минулого сторіччя. І пов'язано це було з розвитком автомобільної промисловості у всьому світі та, відповідно, значного збільшення кількості машин на дорогах. Так найбільш розвиненим країнам довелося замислитись про регулювання руху на дорогах.

У Британії придумали позначати місця для переходів за допомогою спеціальних металевих шпильок, які буквально встромлялися в асфальтобетонне покриття. Пізніше міністр транспорту Британії Хор-Беліш запропонував установлювати уздовж доріг жовто-помаранчові кулі на смугастих стовпах. Конструкція була схожа на маяк і була помітна водіям та пішоходам як вдень, так і в темний час доби. Ці кулі на смугастих опорах стали справжніми символами дорожнього руху у Великій Британії.

Перша «зебра» з'явилася 31 жовтня 1951 року в англійському місті Слоу – саме тоді пішохідний перехід через вулицю було оформлено у вигляді чергування чорних та білих смуг (рис. 3).



Рисунок 3 – Первая «зебра» в английском городе Слоу

Смути на пішохідному переході стандартизовані, мають ширину півметра. Крім того, згідно із Законом про дорожній рух (StVO), розмітку смуги руху прийнято офіційно називати пішохідним переходом.

Згідно з повідомленням телекомпанії WDR, походження терміна «зебра» сягає глибоко корінням у роки після Другої світової війни. На той час кількість автомобілів у Західній Німеччині зростала надзвичайно швидко, через що почастішали аварії за участю пішоходів.

У 1953 році пішохідні переходи були включені до складу StVO. Згідно з наявною інформацією, смуги на той час називалися офіційною німецькою мовою «Dickstrichkette». Трохи згодом у результаті рішучих дій з боку уряду, з'явилося поняття «зебра».

Дорожня розмітка з'явилася на початку ХХ століття саме з такою метою, щоб полегшити для водіїв орієнтацію на дорозі і зробити рух більш упорядкованим і, як наслідок, безпечнішим.

Винахідником дорожньої розмітки вважається Едвард Н. Хайнз, член дорожньої комісії Wayne County у штаті США Мічиган. Він у 1911 році запропонував нанести на першу бетонну дорогу світу, Woodward Avenue у Детройті, центральну лінію для поділу смуг руху.

Розмітка завжди знаходиться у полі зору водіїв і пішоходів, дає їм необхідну інформацію про порядок руху, тому умови її нанесення (технології і матеріали) та експлуатаційний стан автомобільної дороги повинні забезпечувати її постійну наявність і хорошу видимість.

### Література

4. Історія виникнення дорожньої розмітки. *Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України*. URL: [restoration.gov.ua](https://restoration.gov.ua) (дата звернення: 20.03.2026).

5. The History of Road Markings. *Traffic Signs & Safety Museum*. URL: [trafficsignsmuseum.org](https://trafficsignsmuseum.org) (дата звернення: 20.03.2026).

# ДЕФОРМАЦІЇ І РУЙНУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Мазур Б. С., ст. групи Д-46-22*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Фоменко О.О. асистент*

*[lensanfom@ukr.net](mailto:lensanfom@ukr.net)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

При будівництві автомобільних доріг необхідно вирішувати безліч складних інженерно-будівельних завдань, пов'язаних з підвищенням несучої здатності ґрунту або дорожнього покриття, створення дренажних систем, рекультивації, гідроізоляції, зміцнення і дренажу основ і схилів споруд.

Деформації та руйнування земляного полотна (осідання, зсуви, ерозія) виникають через перезволоження, нерівномірне відтавання, неправильне ущільнення або кліматичні чинники. Найнебезпечніші періоди – весняне відтавання та осінь, коли міцність ґрунту знижується. Для захисту застосовують правильний дренаж, ущільнення та захист схилів.

У загальному комплексі дорожніх споруд визначальна роль належить земляному полотну та дорожньому одягу, стан та властивості яких насамперед визначають умови руху автомобілів.

До характерних деформацій земляного полотна відносяться його осідання та просідання, колія та випинання на узбіччях; до руйнування – сповзання і розповзання насипів, сповзання укосів, розмивання узбіччя, укосів і полотна (рис. 1) [1].

Осідання – виникають внаслідок застосування нестійких ґрунтів, недостатнього їх ущільнення чи перезволоження.

Просідання насипів виникають на ділянках зі слабкою основою – болотах, карстах.

Зсуви та обвали – руйнування схилів насипів або виїмок через втрату стійкості.

Ерозія ґрунту – змивання або видування верхнього шару ґрунту дощами, талими водами чи вітром.

Пучинистість – підняття дорожнього покриття взимку через замерзання вологи в ґрунті, що веде до руйнування навесні

Колія від коліс автомобілів виникає на неукріплених і недостатньо ущільнюючих узбіччях у разі їх перезволоження.

Випинання – хвилястість поверхні узбіччя у разі глибокого повільного промерзання перезволожених ґрунтів.

Розповзання насипу відбувається в результаті використання слабких ґрунтів у процесі влаштування земляного полотна, недотримання режиму пошарового ущільнення, а також зволоження ґрунтів.

Сповзання насипу відбувається на косогірних ділянках доріг у разі незадовільної підготовки основи (відсутність уступів, перезволоження, недостатнє ущільнення).

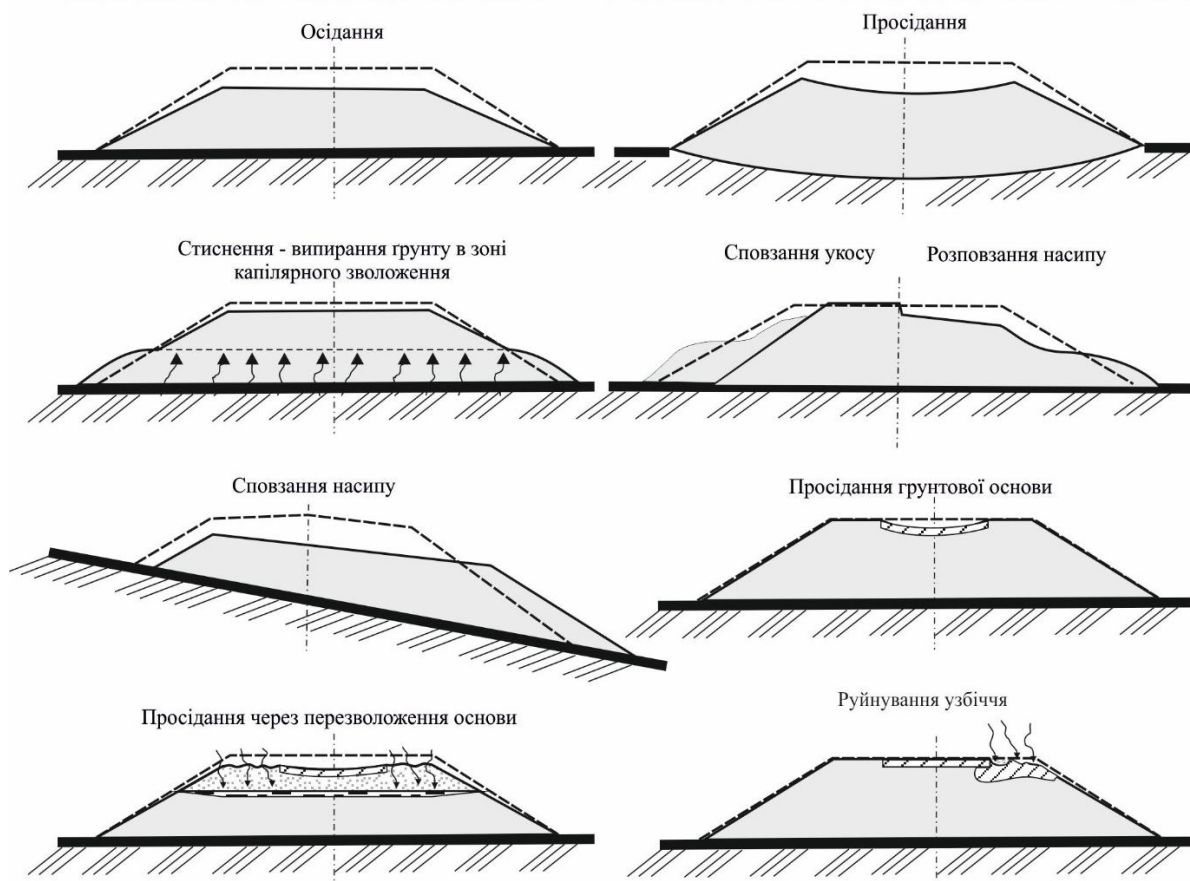


Рисунок 1 – Характерні деформації та руйнування земляного полотна

Сповзання укосів – у разі інтенсивного зволоження атмосферними опадами та відсутності укріплень, використання слабких ґрунтів.

Розмивання узбіччя та укосів відбувається в результаті водної ерозії у разі відсутності або недостатньої ефективності їх зміцнення.

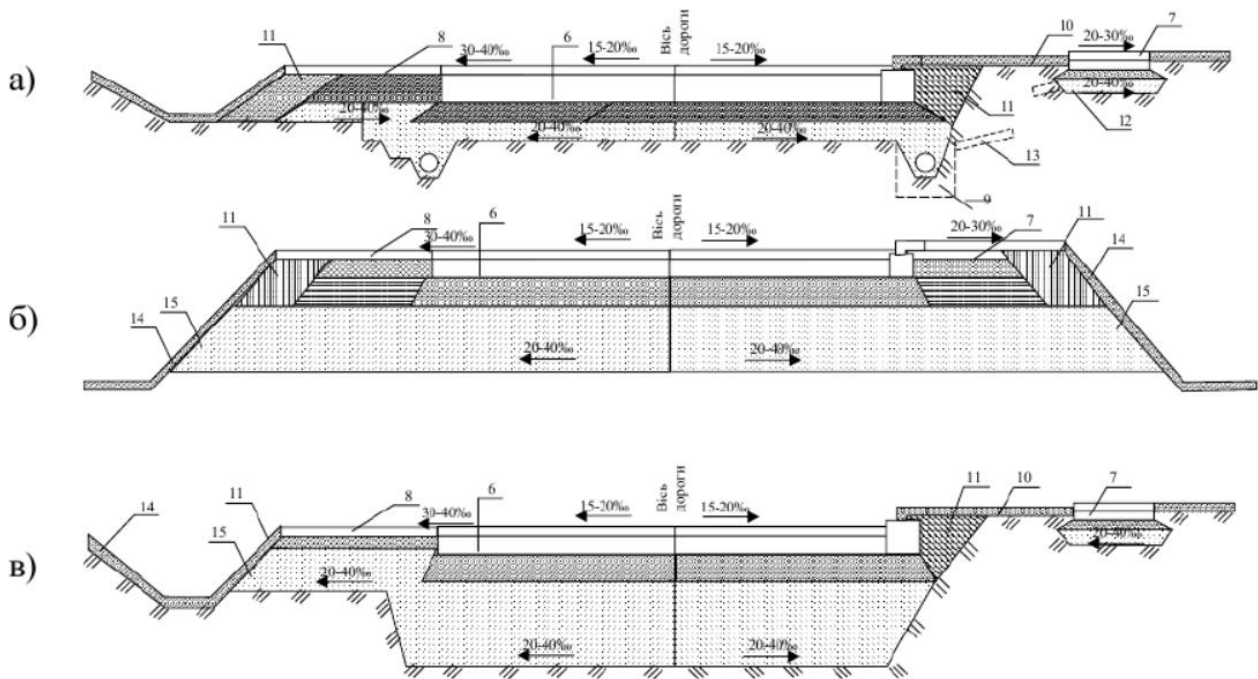
Причини виникнення:

- водно-тепловий режим: найбільша вологість і найменша щільність ґрунту спостерігаються під час відтавання (весна);
- техногенні фактори: неякісне ущільнення під час будівництва, важка техніка, помилки в дренажних системах;
- природні чинники: зливи, повені, вивітрювання.

Методи боротьби та профілактики:

– дренажні системи: забезпечення відведення поверхневих та ґрунтових вод. Вода під покриття просочується шляхом капілярного підняття та через пори і тріщини покриття і т.д., появу яких і розподіл по площі покриття передбачити заздалегідь неможливо. Тому, дренаж повинен забезпечити акумулювання і відвід води з будь-якої точки покриття без переривання руху, в любий період. Дренажна конструкція повинна розповсюджуватися по низу покриття на повну його ширину (рис. 2). На даний момент відсутні водонепроникні покриття, які змогли б забезпечити достатню водостійкість на необхідний час.

– контроль ущільнення: використання інклінометрії та інших методів для перевірки щільності слабких ґрунтів;



- 1 – проїзна частина; 2 – тротуари; 3 – узбіччя; 4 – смуги озеленення;  
 5 – центральна розділювальна смуга; 6 – конструкція дорожнього одягу проїзної частини; 7 – конструкція тротуару; 8 – укріплення узбіч; 9 – поздовжній дренаж мілкового закладення; 10 – газон; 11 – ущільнений ґрунт;  
 12 – трубчаста воронка; 13 – труба діаметром 80 – 100 мм; 14 – закріплення ухилів бічних каналів; 15 – зворотний фільтр

Рисунок 2 – Конструкції дренажних систем мілкового закладення

– зміцнення схилів: висаджування рослинності, укріплення геосинтетичними матеріалами. Індикатором необхідності зміцнення схилу є навіть невеликі пересування ґрунту, промиті водою канави, обсіпані ділянки, а також підтікання з брудом біля підніжжя схилу після дощу. При поступовому вимиванні чи осипанні цілісна структура поверхні схилу дуже послаблюється, і за несприятливих кліматичних умов може виникнути зсув – з його руйнівними наслідками.

Рекомендується використовувати озеленення тільки в комбінації з більш надійними методами, для посилення ефекту закріплення ґрунту та для покращення зовнішнього вигляду укріплювальних конструкцій.

Озеленення схилів застосовується при нахилах до 55 градусів. Для більш крутих схилів це нерентабельно, тому що на них ґрунт із рослинами швидко вимивається дощем та обсіпається. Озеленення ефективно поєднується з так званими біоматами. Біомат – це розкладний геомат, виготовлений виключно з природних матеріалів – джуту або кокосового волокна. Він діє протягом кількох років, поки рослини не вкоренилися в ґрунті, а потім перегниває і стає відмінним добривом.

Зміцнення схилів георешітки – це досить бюджетний варіант. Підходить для поверхонь із ухилом до 45 градусів. Установка георешітки ніяк не змінює

зовнішній вигляд схилу, оскільки вона повністю засипається ґрунтом або щебенем і не виступає на поверхню (рис. 3).



Рисунок 3 – Укріплення георешітками

Георешітка – це гнучка об'ємна конструкція з поліетиленових або поліпропіленових стрічок, спаяних між собою у вигляді сот, яка розкладається по площині схилу та утворює квадратні осередки з діагоналлю 20 см, 30 см і 40 см, і стінками висотою 5 см, 10 см, 15 см і 20 см. Фіксується на схилі за допомогою анкерів (від 500 мм до 1000 мм завдовжки). Осередки засипаються до верху дрібним щебенем або ґрунтом. Поверхня схилу розрівнюється та ущільнюється трамбуванням.

Георешітку можна встановити вручну. Всі види робіт не вимагають використання техніки: планування схилу, з'єднання модулів решітки, анкерування, засипка та ущільнення. Тим не менш, при великих обсягах робіт раціональніше використовувати техніку.

Георешітка, крім своєї ціни, хороша ще й тим, що може укладатися на криволінійну поверхню схилу. Головна умова – відносна площа схилу. Плавні зміни кривизни георешітка добре повторює завдяки своїй пластичності. Також георешітки легко по необхідності підрізати для надання їй необхідної форми.

### Література

1. Кизима С. С. Експлуатація автомобільних доріг. К. : МОНУ/НТУ, 2009. 272 с.

# ВПЛИВ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

Марченков О. А., ст. групи Д-46-22

Лебідь В. О., ст. групи Д-47-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сєдов А.В., к.т.н., доцент

[avs.1708@ukr.net](mailto:avs.1708@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Порівняно з країнами Європи стан безпеки дорожнього руху в Україні можна охарактеризувати, як вкрай незадовільний через високий рівень смертності та дорожньо-транспортного травматизму. Наслідки ДТП в ЄС завдають збитків у розмірі 2 % ВВП, а в Україні – 3,5 %. Відносна кількість загиблих у нас в 7-10 разів більша, ніж у розвинених країнах. Кількість загиблих у ДТП в Україні становить 13 % від загиблих у дорожніх подіях усієї Європи, тоді як кількість автомобілів – лише 2 % від усього європейського автомобільного парку [1, 2]. Згідно даних діаграми (рис. 1), найбільша кількість смертельних випадків трапляється внаслідок ДТП, скоєних на магістральних дорогах [2, 3].



Рисунок 1 – Розподіл кількості ДТП, скоєних на дорогах України та розподіл кількості смертельних випадків у ДТП

Тут має місце висока смертність від таких причин ДТП як перевищення швидкості та виїзд транспортного засобу на смугу зустрічного руху, які фіксуються у протоколах про ДТП і визнаються остаточними причинами ДТП. Але причини, які призвели до порушень правил дорожнього руху, не вивчаються, а попереджувальні заходи не вживаються.

Дорожньо-транспортні пригоди лише в окремих випадках можуть бути пояснені однією причиною. Зазвичай ДТП є результатом взаємодії низки чинників, серед яких один є вирішальним. Тим часом при аналізі статистичних даних зазвичай вказується лише одна причина, найчастіше – вина водія, який неправильно обрав режим руху, тим більше що для будь-якої події завжди можна вказати швидкість руху одного з учасників, за якої ДТП не сталося б [3].



Людина (93 %)

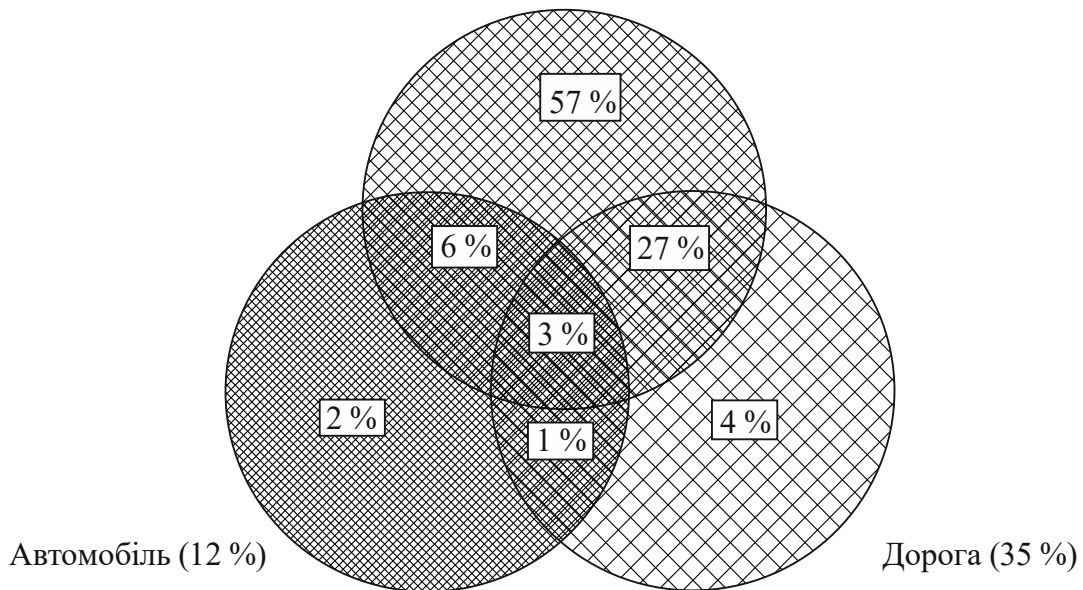


Рисунок 2 – Роль факторів ризику та їх поєднань у виникненні ДТП

До факторів можна віднести [4, 5] (рис. 3):



Рисунок 3 – Дорожні фактори, що впливають на безпеку руху

а) Пов'язані з людиною (більш професійного плану; професія – водій):

– придатність (особистісні, психофізіологічні якості, стан здоров'я);

– працездатність (режим праці та відпочинку, умови на робочому місці, стан здоров'я, режим харчування, вживання різних лікувальних препаратів, спосіб життя);

– підготовленість (наявність необхідного обсягу знань та навичок, що набуваються в процесі професійного навчання та в результаті самонавчання);

– мотивація (зацікавленість у безпечному процесі роботи, результати праці, задоволеність роботою в цілому);

Загального плану [4, 5]:

– вік (ризик ДТП максимальний до 25 років та після 65);

– стать (жінки обережніші, нерішучіші, недооцінюють свої можливості; чоловіки краще справляються з небезпечними ситуаціями, але надмірно самовпевнені і переоцінюють свої можливості);

– досвід водіння (небезпечні періоди – перший рік – відсутність досвіду; 5 років ( $\pm 2$  роки) – професійний автоматизм, зниження уваги, недооцінка серйозності нестандартних ситуацій, що виникають);

– інформованість (про загальну статистику ДТП, періоди часу та ділянки дорожньої мережі з підвищеним ризиком ДТП);

– небезпечні стани (алкогольне сп'яніння – найнебезпечніше при невеликих дозах алкоголю; стомлення, втома; монотонія; хронічні, серцево-

судинні захворювання, діабет, психічні захворювання та прийом препаратів при них; низький рівень інтелекту; наркотики).

б) Пов'язані з транспортним засобом [4, 5]:

– вибір способу пересування (2 групи засобів пересування: 1 – високий ризик поранення та тяжкість наслідків внаслідок ДТП – мотоцикл, пішохід, велосипед; 2 – значно менший ризик поранення та тяжкість наслідків у результаті ДТП – водії та пасажери транспортних засобів);

– розміри та маса (ризик загибелі у ДТП зменшується приблизно в 2 рази на кожні 800 кг додаткової маси автомобіля);

– потужність двигуна та швидкісні характеристики (автомобілі з високою потужністю мають ризик ДТП вище на 15-20 % порівняно із звичайною потужністю при однаковій масі автомобіля => ризик ДТП підвищується зі збільшенням потужності двигуна);

– технічний стан та обладнання транспортних засобів (ризик ДТП для вантажних автомобілів з технічними несправностями зростає на 60-70 %; посилення вимог щодо технічного стану автомобілів та конструктивної безпеки дозволяє скоротити чисельність загиблих у ДТП на 30 %).

в) Пов'язані з дорогою: [4, 5]

– категорія дороги;

– геометричні параметри (на дорогах з неоднорідними умовами руху |круті повороти, ухили, що чергуються з прямими ділянками;

– число перетинів та примикань другорядних доріг (зі збільшенням числа перетинів та примикань на 1 км дороги число ДТП зростає, оскільки зростає ймовірність неправильної оцінки ситуації та виникнення помилок водіїв);

– облаштування перехресть (кількість доріг, що перетинаються, частка транспортних засобів, що в'їжджають з другорядних доріг на головну, спосіб організації руху на перехресті, швидкісний режим, технічне оснащення перехрестя, якість його утримання);

– швидкісний режим (зниження середньої швидкості руху на перехресті веде до зниження числа ДТП із пораненими та числа ДТП із загиблими; і навпаки).

г) Пов'язані із зовнішнім середовищем [4, 5]:

– темний час доби (у темний час доби відносно число ДТП приблизно в 1,5-3,5 рази вище порівняно зі світлим часом – умови видимості гірші, може бути більше водіїв у стані алкогольного сп'яніння, стомлених водіїв);

– несприятливі погодні умови (під час опадів кількість ДТП збільшується; якщо опади затяжні, то водії адаптуються та кількість ДТП поступово знижується);

– стан дорожнього покриття (на слизькому дорожньому покритті, одразу після настання ожеледиці, ризик виникнення ДТП зростає, у міру адаптації водіїв до складних дорожніх умов, кількість ДТП поступово знижується; негативно відбиваються і нерівності дорожнього покриття);

– перевантаженість дороги транспортними засобами (рух у насиченому транспортному потоці підвищує кількість помилок учасників дорожнього руху, конфліктних ситуацій, що призводить до зростання кількості ДТП);

– проведення дорожньо-ремонтних робіт (створює перешкоду для плавного руху транспортного потоку, обмежує пропускну спроможність дороги => може виникати перевантаженість дороги).

Безпосередня роль дорожніх умов у виникненні подій за офіційною статистикою невелика.

Ними у різних країнах пояснюють від 2 % до 20 % загальної кількості подій. В Україні різні джерела останніх років вказували, що стан дороги є причиною кожної п'ятої або сьомої події. Такий малий вплив дороги, що здається, викликано тим, що працівники поліції розслідують події без використання апаратури, яка могла б об'єктивно фіксувати розміри і стан елементів дороги, а також погодні умови в момент виникнення подій [6]. Детальний аналіз ДТП показує, що причиною випадків може бути слизьке покриття (51,5-71,9 %), покриття з нерівностями (9,6-22,5 %), поганий стан узбіччя (4,8-5,2 %) , погане утримання доріг у зимовий період (4,7-5,2 %), відсутність знаків у необхідних місцях (2,0-3,7 %), звуження проїзної частини дорожньо-будівельними машинами чи матеріалами при ремонті (1,8-2,9 %) (рис. 4).

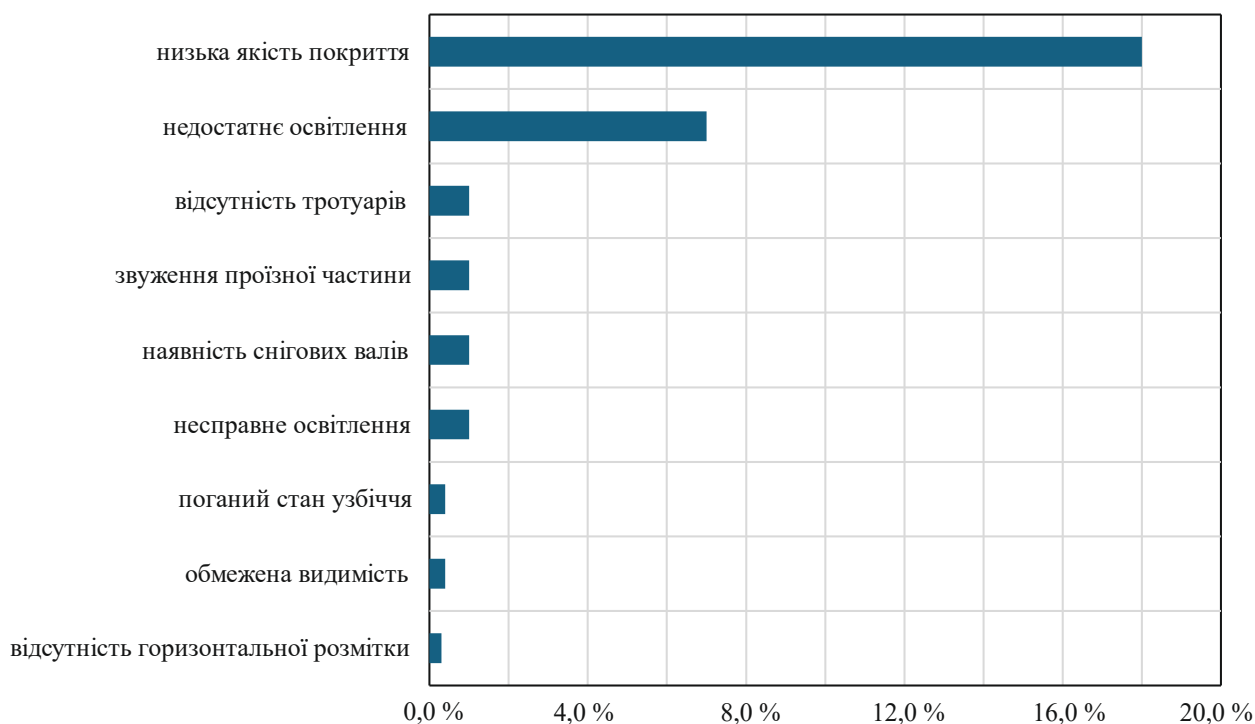


Рисунок 4 – Дорожні умови у відсотковому співвідношенні від загальної кількості ДТП

Нерівність покриття, за даними поліції, є причиною 14 % ДТП, пов'язаних із несприятливими дорожніми умовами [6]. Характер виникнення ДТП полягає у необхідності несподіваної зміни швидкісного режиму (екстремне гальмування), маневру у плані або одночасного вчинення цих двох дій. За наявності попутного

та зустрічного транспортних потоків ймовірність зіткнення у цих випадках сильно зростає. Крім того, нерівності дорожнього полотна викликають коливання трансмісії автомобіля, що може призвести до втрати керованості. Коливання причепів та напівпричепів автопоїздів призводять до збільшення динамічного коридору руху, що також збільшує ймовірність зіткнення та можливість втрати бічної стійкості. Методи організації руху в цих випадках мають характер попередження учасників руху. Єдиним ефективним методом боротьби з нерівностями покриття є, крім якісного будівництва, своєчасний ремонт [6].

### Література

1. Дудникова Н. М. Коефіцієнт зчеплення транспортного потоку з дорожнім покриттям на ділянці дороги. Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник. МВС України, 2006. № 1-2. С.104-106.
2. Статистику дорожньо-транспортних пригод з постраждалими в Україні за 2023 рік. URL: <https://surl.li/ojwphq> (дата звернення: 20.03.2026).
3. В Україні за рік суттєво побільшало ДТП і зріс рівень смертності. URL: <https://surl.li/rljuth> (дата звернення: 20.03.2026).
4. Основні причини дорожньо-транспортних випадків. URL: <https://ts.kiev.ua/osnovni-prychyny-dtp/> (дата звернення: 27.03.2026).
5. Найпоширеніші причини ДТП. URL: <https://surl.li/szfath> (дата звернення: 21.03.2026).
6. Бондар Т. В., Беленчук О. В. Оцінка ролі дорожніх умов у виникненні дорожньо-транспортних подій на ділянках їх концентрації. URL: [http://dorogimosti.org.ua/files/upload/r4\\_5.pdf](http://dorogimosti.org.ua/files/upload/r4_5.pdf) (дата звернення: 20.03.2026).

# ВИКОРИСТАННЯ ГЕОРЕШТОК ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ОБ'ЄКТІВ

Моїсєєв О. В., ст. групи Д-41-22

Остапенко В. В., ст. групи Д-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Фоменко О.О. асистент

[lensanfom@ukr.net](mailto:lensanfom@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Геосинтетичними матеріалами називаються матеріали, в яких хоча б одна складова частина виготовлена з синтетичних або натуральних полімерів, що використовуються в геотехніці в контакті з ґрунтом або іншими будівельними матеріалами. Поліпропілен, поліетилен, полієфір (поліестер) є основою багатьох геосинтетиків, які представлені у вигляді сіток, тканин, решіток (рис. 1) [1, 2].



а) геомембрани



б) геотекстильні матеріали



геосітки



об'ємні георешітки



геомати



геосоти

Рисунок 1 – Геосинтетичні матеріали

Зміцнення слабких основ, будівництво насипів з укосами підвищеної крутості, підвищення несучої здатності ґрунтів, стабілізація стійкості схилів, запобігання утворенню тріщин у дорожньому покритті, збільшення терміну служби дороги – завдання, вирішення яких знайдено за допомогою геосинтетиків.

Геосинтетичні матеріали покращують технічні характеристики дорожніх конструкцій завдяки своїм властивостям: високою міцністю на розтягування та розрив при малих деформаціях, високою адгезією з ґрунтом та асфальтобетоном, довговічністю, а також стійкістю до впливу хімічно агресивних середовищ [2].

Пружне покриття зазвичай складається з підготовленого шару основи, що підстилає, яке є природним ґрунтом або насипним матеріалом, ущільненим до певного значення. Перший шар основи споруджується на підготовленому шарі, що підстилає, або цей шар може бути пропущений, якщо ґрунт підстиляючого шару високої якості. Верхній (другий) шар основи дорожнього одягу укладається зверху першого шару або якщо його немає, то прямо на ґрунт шару, що підстилає. Він зазвичай є: подрібнений камінь, гравій або пісок. На нього зверху укладається шар покриття, який зазвичай складається із суміші мінеральних заповнювачів та матеріалів на бітумній основі [1].

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості ГМ і галузі їх використання

Вид ГМ	Вихідний матеріал	Галузь використання	Показники фізико-механічних властивостей
1	2	3	4
Геотекстильні полотна неткані механічно скріплені	Поліпропілен, поліефір, 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) стійкість, щільність, адгезія до асфальтобетону	Поліефір, поліпропілен, базальт (волокно)	Армування верхнього шару покриття і основи, укріплення відкосів насипів, водовідведення з проїзної частини	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості, хімічна
Сітки плетені, в'язані, екструзійні, просочені (волокно)	Поліпропілен, поліефір, поліамід, скло, базальт	Армування всіх шарів дорожнього одягу, улаштування спайних ростверків, захист від відображених тріщин	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4
Сітчасті смуги	Поліетилен, поліпропілен, поліамід, базальт		Хімічна стійкість, щільність, коефіцієнт зовнішнього тертя
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 обені, 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

Посилений ґрунт – композиційний матеріал, у якому скомбіновані характерні міцності двох різних матеріалів, таким чином зменшуючи недоліки кожного. Зокрема, комбінація відносно великого обсягу дешевого матеріалу з міцністю на стиск – ґрунту з відносно меншою кількістю дорожчого матеріалу з міцністю на розтяг – георешітками призводить до поліпшення фізико-механічних властивостей посиленого ґрунту. Таким чином, комбінація (синергетика) міцності на розтягування та міцності на стиск двох матеріалів покращує загальні характеристики композиційного матеріалу, як у випадку залізобетону (рис. 2) [2].

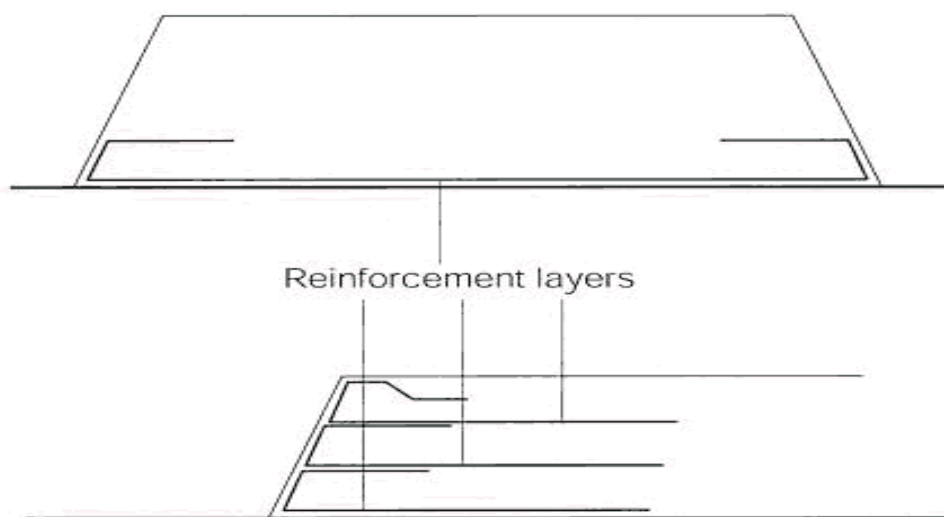


Рисунок 2 – Типове посилення основи та схилу насипу

Проста модель допоможе пояснити принцип, на якому ґрунтуються методи посилення ґрунту. На рисунку 3 показана схема механізму розподілу напруг у

багатошаровій системі, представленій сипучими ґрунтами, з армованим конструктивним шаром.

Представимо елемент з нескінченно великого масиву ґрунту (рис. 4, а), до якого прикладено вертикальне навантаження  $\sigma_v$ , що викликає деформацію в елементі та подальше горизонтальне навантаження, викликане бічним тиском сусіднього ґрунту. У горизонтальному напрямку елемент ґрунту зазнає деформації розтягування, яка є однією з важливих причин локального руйнування.

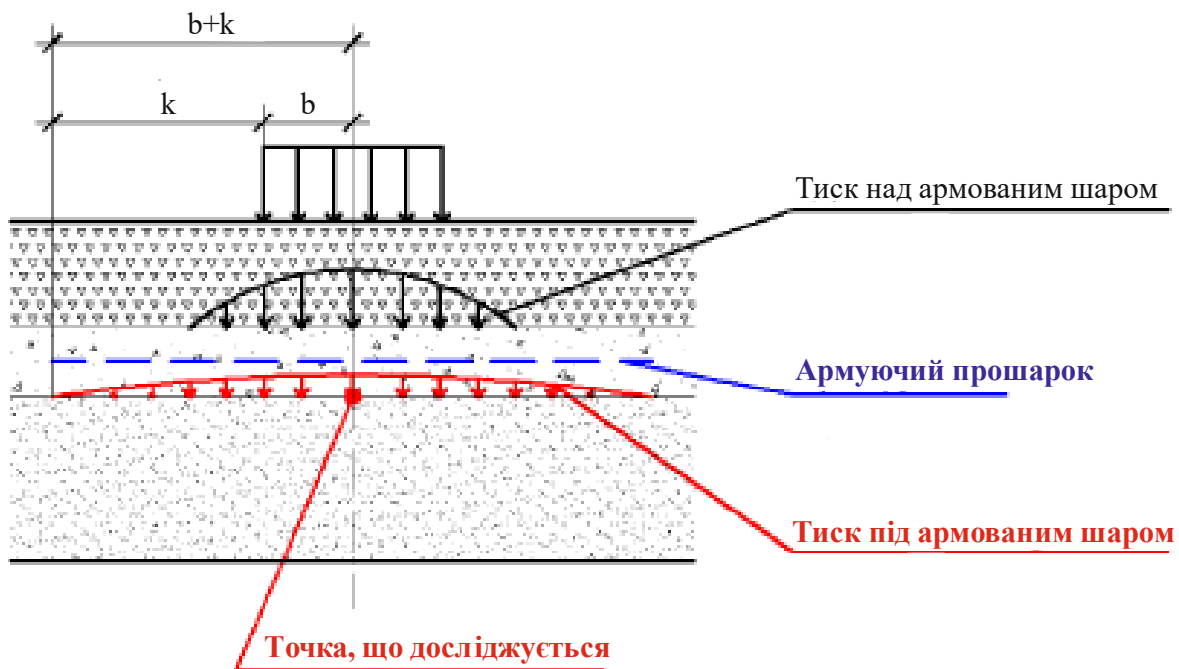


Рисунок 3 – Схема механізму розподілу напруг у багатошаровому середовищі з армованим шаром

При введенні підсилюючого елемента в ґрунт, як (рис. 4, б) додаток вертикального навантаження викликає деформацію елемента ґрунту та подовження підсилюючого елемента.

Це подовження створює зусилля  $T$  в елементі посилення, яке, своєю чергою, викликає горизонтальна напруга  $\sigma_h^*$ . Ця напруга, яка також обмежує рухливість частинок ґрунту, значно підвищує опір горизонтальним силам та зменшує горизонтальні деформації [3].

Отже, включення георешітки в масив ґрунту зменшує напруги та зусилля, що виникають у ґрунті; з іншого боку, вертикальне навантаження, що прикладається до масиву ґрунту, може бути підвищене, порівняно з не посиленним ґрунтом з еквівалентними значеннями деформацій.

Головні переваги структури посиленого ґрунту такі [3]: низька загальна ціна; можливість будувати крутіші схили, зменшивши кількість матеріалу, необхідного для насипу; можливість використовувати менш дорогі матеріали; підвищена стійкість: можливість будувати на ґрунтах із низькою несучою здатністю.

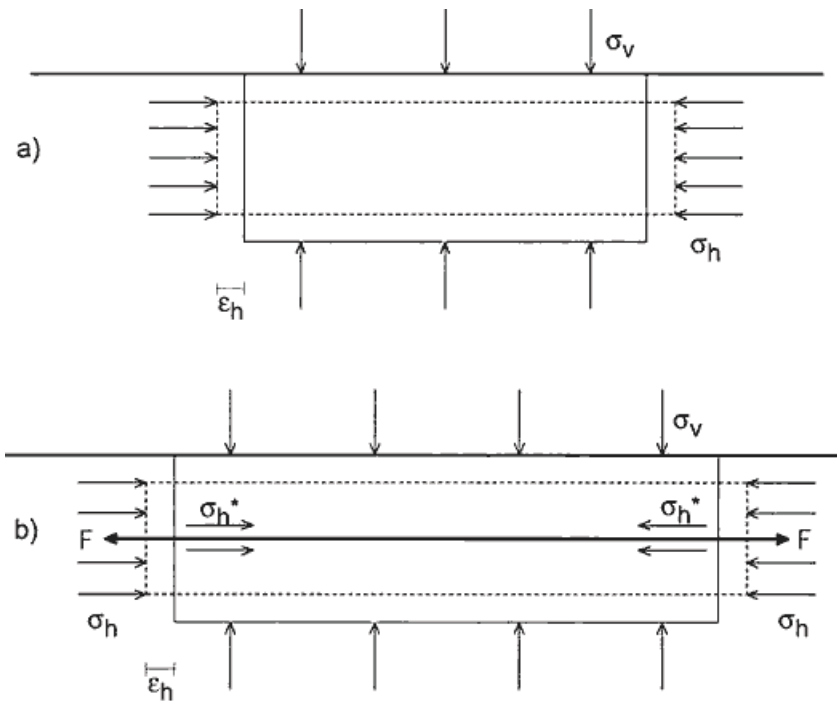


Рисунок 4 – Напруги та зусилля у не посиленому та посиленому ґрунті

### Література

1. Гамеляк І.П., Кострицький В.В., Артеменко Л.Ф., Проблеми використання геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві та шляхи їх вирішення. Вісник КНУДТ. 2009. Вип. 6. С. 17- 27.
2. Шевчук В.Р., Журба Г.В. Міжнародна конференція з геосинтетики: сучасні напрямки розвитку // Автошляховик України. 2006. № 6. С. 38-40.
3. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). К.: Укравтодор, 2008. 145 с.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

*Неупокосва М.Р. Д-51-25*  
[mirosh1927@gmail.com](mailto:mirosh1927@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
*Костін Д.Ю., к.т.н., доцент*  
[dmitric2008@gmail.com](mailto:dmitric2008@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Дослідження та впровадження геосинтетичних матеріалів у будівництві автомобільних доріг є одним із найбільш перспективних напрямків сучасної дорожньої галузі, що дозволяє значно підвищити довговічність та надійність дорожніх конструкцій при мінімізації матеріальних витрат. За останні роки спостерігається суттєве збільшення інтенсивності руху, зростання частки великовагового транспорту та підвищення осьових навантажень, що призводить до прискореного зносу дорожнього покриття.

У таких умовах ключовою перевагою використання геосинтетиків стає можливість значного збільшення міжремонтних строків експлуатації дорожнього одягу та земляного полотна. Це безпосередньо впливає на економічну ефективність інвестицій у транспортну інфраструктуру та сприяє зменшенню витрат на щорічне утримання дорожньої мережі.

Геосинтетичні матеріали при будівництві земляного полотна автомобільних доріг виконують низку важливих функцій, які ефективно впливають на забезпечення підвищення надійності та довговічності дорожніх конструкцій. Загалом геосинтетики виконують сім основних функцій: армування, дренажування, захищення, ізолювання, протиерозійний захист, розділення та фільтрування [1].

*Армування* полягає у підвищенні міцності та несучої здатності дорожніх конструкцій.

*Дренажування* забезпечує відведення надлишкової води з дорожньої конструкції, яка негативно впливає на міцність ґрунтів, зменшує їхню несучу здатність та може призводити до руйнування дорожнього полотна.

*Захищення* передбачає запобігання механічним пошкодженням окремих шарів дорожньої конструкції.

*Протиерозійний захист* спрямований на запобігання руйнуванню ґрунтів під впливом води, вітру або інших природних факторів.

*Розділення* забезпечує відокремлення двох різнозернистих шарів дорожньої конструкції.

*Фільтрування* полягає у пропусканні води через геосинтетичний матеріал із одночасним затриманням частинок ґрунту.

Класифікація геосинтетичних матеріалів охоплює широкий спектр виробів, серед яких ключове місце займають геотекстилі (тканинні, нетканинні,

в'язані), геогратки, геосітки, геосоти та геокомпозити. У світі виробляється приблизно 380–400 різновидів геосинтетичних матеріалів, і їх асортимент постійно розширюється.

Розроблення нових видів геоматеріалів відбувається настільки швидкими темпами, що інформація про їхні властивості та можливості застосування часто не встигає повною мірою поширюватися та систематизуватися.

Ефективність використання геосинтетичних матеріалів у будівництві зумовлене їх високими фізико-механічними характеристиками, серед яких важливе місце займають міцність, стійкість до впливу кліматичних та гідрогеологічних чинників, довговічність і екологічна безпечність. Термін експлуатації більшості геоматеріалів становить приблизно 50 - 100 років, за умови що вони не зазнали значних пошкоджень під час будівельних робіт і були належним чином захищені від дії сонячного випромінювання.

Для виготовлення геосинтетичних матеріалів найчастіше використовують такі полімери, як поліамід, поліефір, поліпропілен, поліетилен, поліестер, полівініловий спирт, скловолокно, а також поліолефіни, що являють собою суміші поліетилену та поліпропілену.

З метою надання матеріалам додаткових властивостей до сировини вводять різні добавки. Наприклад, технічний вуглець (сажа) застосовується як стабілізатор, що підвищує стійкість матеріалу до впливу ультрафіолетового випромінювання, а пігменти використовуються для надання необхідного кольору.

Крім того, на поверхню геосинтетичних матеріалів можуть наноситися спеціальні покриття або захисні шари. Такі покриття покращують або підсилюють адгезійні властивості, що забезпечує більш надійне зчеплення матеріалу з навколишнім середовищем і конструктивними елементами споруд. Це сприяє ефективнішій роботі геосинтетики у складі інженерних та дорожніх конструкцій.

Одним із найскладніших завдань у дорожньому будівництві є спорудження насипів на слабких основах, де армування геосинтетиками дозволяє підвищити стійкість конструкції проти бічного розповзання, покращити несучу здатність підстиляючого ґрунту та забезпечити рівномірну передачу навантажень на неоднорідну основу, наприклад, у карстових районах або на старих руслах річок.

При конструюванні насипів на слабкій основі ефективним рішенням є використання геосинтетичних матеріалів у вигляді полотен, напівзамкнених або замкнених обойм, що створює ефект «обойми» для ґрунту та перешкоджає його витисканню.

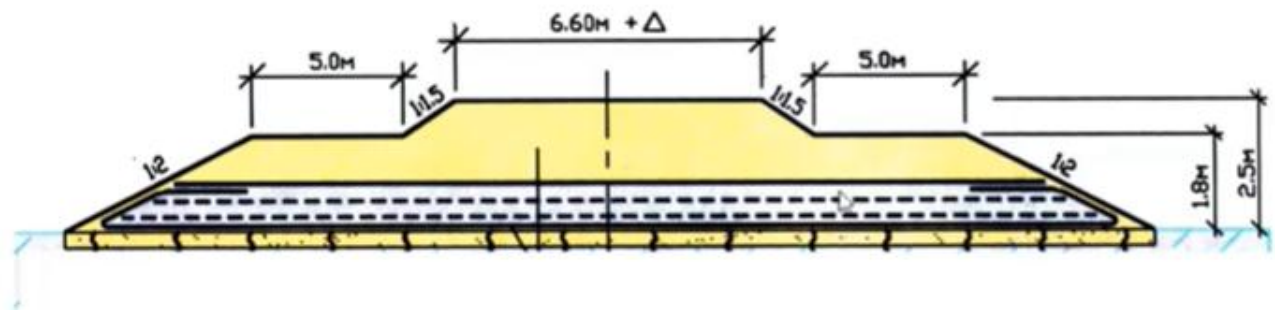


Рисунок 1 – Схема насипу армованого високоміцним геотекстилем та геогеорешітками.

Окрім стабілізації основ, критично важливим є армування та стабілізація укосів. Ефективність застосування геосинтетичних матеріалів проявляється у можливості реалізації інженерних рішень, які є неможливими для неармованих конструкцій. Зокрема, використання геосинтетиків дозволяє збільшувати крутизну укосів до  $70^\circ$ , а в окремих випадках створювати армогрунтові підпірні стінки з кутом нахилу до  $90^\circ$ , що особливо важливо в умовах обмеженої смуги відведення або при влаштуванні підходів до мостових споруд. Укріплений таким чином схил являє собою єдину армовану поверхню, яка добре витримує навантаження і запобігає зсуви, руйнуванню схилу та захищає від водяної та вітрової ерозії.

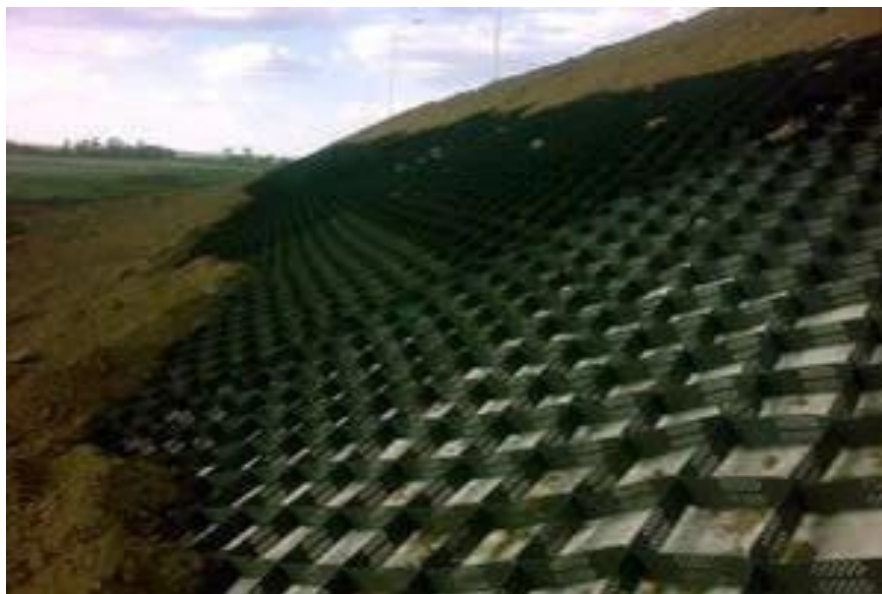


Рисунок 2 – Застосування георешіток при спорудженні укосу

Важливим аспектом підвищення експлуатаційної надійності дорожніх конструкцій є реалізація гідравлічної та роздільної функцій геосинтетиків у земляному полотні. Застосування нетканих голкопробивних геотекстилів та дренажних геокompatитів забезпечує ефективне відведення води з конструктивних шарів, запобігаючи перезволоженню ґрунтів та виникненню морозного здимання.



Рисунок 3 – Використання геотекстильних матеріалів

Особлива роль у забезпеченні стабільності споруди належить функції поділу запобіганню змішуванню неподібних ґрунтів або різнофракційних матеріалів. Використання матеріалу дозволяє покращити взаємодію шарів конструкції, повністю виключаючи перемішування дрібнозернистої основи з крупнозернистими шарами.

Окремим перспективним напрямом підвищення ефективності будівництва земляного полотна автомобільних доріг є застосування блоків зі спіненого полістиролу у тілі насипу. Використання цього надлегкого геосинтетичного матеріалу дозволяє кардинально знизити власну вагу конструкції, мінімізуючи вертикальне навантаження на підстильні шари ґрунту, що практично нівелює ризики надмірних просідань та втрати стійкості основи. Окрім конструктивних переваг, блоки полістиролу забезпечують значне прискорення темпів зведення земляного полотна, оскільки виключають тривалі технологічні перерви на консолідацію ґрунту та дозволяють проводити роботи за будь-яких погодних умов, що є критично важливим для дотримання стислих термінів реалізації міжнародних інфраструктурних проєктів.



Рисунок 4 – Відновлення насипу на слабких основах автомобільної дороги SH-13, США

Отже, геосинтетичні матеріали суттєво підвищують ефективність та довговічність дорожніх конструкцій, забезпечуючи армування, дренажування, захист від ерозії, розділення шарів та фільтрування води. Їх застосування дозволяє стабілізувати насипи на слабких основах, укріплювати укоси та схили, зменшувати матеріальні витрати та скорочувати терміни будівництва, при цьому значно подовжуючи міжремонтні строки експлуатації.

### Література

1. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. Київ: Укравтодор, 2014 – 176 с.
2. Посібник № 1 з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (до ГБН В.2.3-37641918-544:2014) / ТОВ «Гідрозахист», 2015. 137 с.
3. Усиченко О. Ю., Миколаєнко О. А. Аналіз використання геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві. Збірник наукових праць «Вісник Національного транспортного університету» С. 64–71.
4. Застосування геотекстилю в дорожньому будівництві. Геосвіт. URL: <https://geosvit.com.ua/dorozhnye-budivnytvo/> (дата звернення: 22.03.2026)
5. Stark T. D., Arellano D., Horvath J. S., Leshchinsky D. Guideline for Geofam Applications in Highway Embankments. NCHRP Report 529. Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2004. 64 p. URL: [https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_529.pdf](https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_529.pdf) (дата звернення: 22.03.2026)

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ ВИДІВ ТИМЧАСОВИХ ЗАСОБІВ СНІГОЗАТРИМАННЯ

*Олійник Д.О., ст. групи Д-52-25; Догадайло Я.В. к.е.н., доцент  
[daria.oliinyk04@gmail.com](mailto:daria.oliinyk04@gmail.com); [sveticwork@gmail.com](mailto:sveticwork@gmail.com)  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Зимове утримання автомобільних доріг є одним із найбільш складних та відповідальних етапів експлуатації транспортної мережі України. В умовах різких перепадів температур та інтенсивного снігопереносу, забезпечення безперебійного та безпечного руху стає критично важливим завданням. Запобігання утворенню снігових заметів на проїзній частині є значно ефективнішим і економічно вигіднішим стратегічним рішенням, ніж постійна боротьба з наслідками заносів за допомогою важкої техніки. Кожен кубометр снігу, затриманий ще на підходах до автомобільних доріг, є не лише фактором економії паливно-мастильних матеріалів і зниження зносу дорожньо-експлуатаційної техніки, а й важливим елементом підвищення безпеки руху, передусім це стосується мінімізації ризиків виникнення дорожньо-транспортних пригод і заторів, які здатні суттєво порушувати логістичні процеси на рівні всієї країни [1-3].

У практиці дорожнього господарства застосовуються два основні типи засобів снігозатримання: постійні та тимчасові. Постійні засоби (лісосмуги, стаціонарні огорожі) створюються на тривалий період експлуатації, тоді як тимчасові встановлюються безпосередньо перед зимовим сезоном і демонтуються після його завершення. Вибір типу засобу залежить від природно-кліматичних умов, рельєфу місцевості та економічної доцільності [1, 4].

Під тимчасовими засобами снігозатримання в дорожній галузі розуміється комплекс переносних конструкцій та штучних споруд, що встановлюються на придорожніх смугах виключно на зимовий період. До них відносяться як штучні вироби (дерев'яні або полімерні щити, сітки), так і засоби, що створюються безпосередньо зі снігового покриву (вали, траншеї, стіни). Основна фізична суть їхньої роботи полягає у зміні аеродинамічного режиму сніговітряного потоку: створюючи перешкоду, засіб спричиняє різке зниження швидкості вітру, внаслідок чого сніг випадає в осад, формуючи шлейф з підвітряного боку, не долітаючи до полотна дороги [3, 5, 6].

Попри розвиток технологій та впровадження лісосмуг, саме тимчасові засоби снігозатримання залишаються ключовим інструментом захисту автомобільних доріг на відкритих ділянках. Це зумовлено їхньою мобільністю та здатністю забезпечувати оперативне реагування на зміну напрямків панівних вітрів. У випадках, коли відсутня можливість створення багаторічних насаджень або встановлення капітальних інженерних споруд, дані тимчасові конструкції виконують функцію первинного бар'єру. Вони дають змогу ефективно регулювати процеси снігонакопичення шляхом зміни їхнього розташування в

міру занесення, що визначає їхню високу ефективність на територіях із значними обсягами снігопереносу [3, 4, 6].

Тимчасові засоби снігозатримання, що використовуються дорожніми службами, поділяються на дві основні категорії: попередньо виготовлені штучні конструкції та безресурсні споруди, які створюються безпосередньо на місці [2, 3].

Дерев'яні решітчасті щити залишаються класикою дорожньої справи, їх стандартні розміри, 2 x 2 м і 1,5 x 2 м, обрані так, щоб забезпечити оптимальний опір вітру. Важливим параметром є решітчастість, яка зазвичай становить 40-50 %. Це дозволяє частині повітря проходити крізь щит, створюючи турбулентність, тоді сніг осідає не під щитом, а формує пологий і довгий вал, завдяки чому щит довше залишається придатним до роботи.

Останніми роками набули поширення полімерні снігозатримувальні сітки. Вони виготовляються з високоміцного поліетилену, стійкого до ультрафіолету та низьких температур. Головна перевага це вага: рулон сітки довжиною 50 метрів важить менше, ніж один дерев'яний щит, що дозволяє двом робітникам за зміну перекрити сотні метрів проблемних ділянок. Крім того, полімерна сітка практично не гниє і займає мінімум місця на складі влітку.

Хмизові щити 1,5 x 2 м – це, мабуть, найбільш екологічний варіант, який часто використовувався в минулому. Вони мають чудову шорсткість, що добре гасить швидкість вітру, проте їх виготовлення вимагає величезних обсягів ручної праці, а термін служби обмежений одним, максимум, двома сезонами. Щодо використання старих автомобільних шин, то це швидше вимушений захід.

Використання відпрацьованих автомобільних шин як засобів снігозатримання є специфічним методом, шини скріплюють між собою у вигляді стінок або пірамід. Головна технічна перевага це висока стійкість до сильних поривів вітру без додаткового закріплення. Проте цей метод має суттєві недоліки: надзвичайна складність транспортування та повна невідповідність сучасним екологічним нормам, оскільки гума може виділяти токсичні речовини в ґрунт при контакті з талими водами. Окрім того, естетичний вигляд таких конструкцій значно погіршує ландшафт придорожньої смуги.

Окрему категорію складають сніготехнічні меліорації або безресурсні методи, бо вони не потребують сторонніх матеріалів, адже основним «будівельним матеріалом» є сам сніг.

Снігові траншеї виконуються за допомогою бульдозерів або автогрейдерів. Суть методу полягає у прокладанні в сніговому покриві паралельних ровів глибиною 0,5-0,8 м на відстані 10-15 м один від одного. Сніг, що переноситься вітром, западає в траншею, втрачаючи швидкість. Це оперативний метод, який не потребує витрат матеріалів, проте його ефективність різко знижується при зміні напрямку вітру на гострий кут відносно осі траншеї, а також після повного заповнення рову снігом, що потребує регулярного «поновлення» проходів технікою.

Снігові вали створюються шляхом згрібання снігу технікою в безперервні насипи висотою від 1 метра до 1,5 метра. На відміну від траншей, вали працюють

як повноцінний аеродинамічний бар'єр. Сніговий потік, зустрівши вал, перелітає через нього, утворюючи зону відкладення снігу з підвітряного боку. Вали є одним із найпопулярніших методів завдяки швидкості виконання робіт (до 5-10 км захисної лінії за зміну одного трактора).

Снігові стіни є найбільш трудомістким серед безресурсних методів, оскільки часто вимагає ручної праці. Стіни зводяться зі щільного снігу, який нарізається на блоки розміром приблизно 30 x 30 x 50 см. Такі конструкції мають високу снігозбірність завдяки своїй вертикальній формі та стабільності. Снігові стіни доцільно зводити на ділянках, куди не може заїхати важка техніка, або для посилення захисту в місцях найбільш інтенсивних заносів. Попри високу естетичність та ефективність, через величезні витрати часу та залежність від щільності снігу, цей метод сьогодні використовується вкрай рідко [1-3, 5, 6].

Розглянуті вище конструктивні особливості кожного засобу свідчать про те, що їхня ефективність не є універсальною. Навіть опиратися на обсяг снігоприносу для об'єктивної оцінки ефективності засобів снігозатримання недостатньо і хоча технічна здатність утримувати певну кількість кубометрів снігу на погонний метр є визначальною, практичний досвід свідчить про важливість логістичних та експлуатаційних чинників. Саме тому варто застосовувати багатокритеріальний підхід під час вибору видів тимчасових засобів снігозатримання. Обґрунтування критеріїв оцінки базується на живому циклі роботи дорожньої служби. Трудоємність та швидкість встановлення стають вирішальними в умовах дефіциту робітників або в термінових ситуаціях. Матеріалоємність та доступність матеріалів безпосередньо впливають на бюджет експлуатації. Такі критерії, як зручність транспортування та встановлення, часто ігноруються в теорії, але на практиці вага одного дерев'яного щита значно обмежує темпи робіт порівняно з легкою полімерною сіткою. Естетичність та екологічність є вимогами сучасності: не можна ігнорувати вигляд придорожньої смуги або використання матеріалів, що забруднюють ґрунт. Популярність та досвід застосування відображають довіру майстрів дільниць до перевірених часом методів. Вплив погодно-кліматичних факторів диктує вибір конкретного засобу залежно від поточної ситуації. Інтенсивність завірюх визначає необхідну висоту загородження: при сильних штормах низькі вали швидко стають неефективними. Температура повітря відіграє критичну роль для безресурсних методів: при сильних морозах і сухому снігу практично неможливо сформувати стійкі снігові блоки або щільні вали, оскільки сніг просто розсипається, як пісок. Навпаки, волога відлига дозволяє створювати міцні снігові стіни, але ускладнює роботу важкої техніки на ґрунті. Оперативне реагування на зміну умов передбачає можливість швидкого перенесення засобів на нові позиції, якщо напрямок панівного вітру змінився або основна лінія захисту вже повністю занесена сніговим шлейфом [1-3]. Таким чином для комплексного порівняння тимчасових засобів снігозатримання були використані наступні тринадцять критеріїв [6, 7]: трудоємність робіт, матеріалоємність, обсяг снігоприносу, естетичність, екологічність, доступність матеріалів, популярність використання, досвід застосування, швидкість

встановлення, зручність транспортування, зручність встановлення, погоднокліматичні умови та оперативне реагування. Даний перелік критеріїв є комплексним, оскільки він одночасно враховує снігомісткість, вартість, логістику та оперативність управління.

З огляду на те, що дорожня продукція та умови виконання робіт мають індивідуальний характер, при виборі засобів снігозатримання необхідно враховувати специфічні особливості дорожньої галузі, тоді виникла потреба у визначенні їхньої вагомості. Для розв'язання цієї задачі було застосовано метод аналізу ієрархій (МАІ), який становить методологічну основу для багатокритеріального ранжування альтернатив. Суть МАІ полягає в декомпозиції складної проблеми на простіші складові та проведенні попарних порівнянь [8]. На даному етапі дослідження як експерти виступили автори роботи, що дозволило провести первинну апробацію методики та сформувати базову модель вагових коефіцієнтів. Вибір пріоритетів здійснювався з огляду на специфіку Східного регіону України: суворість клімату та великі відстані між об'єктами обслуговування. У подальшому для верифікації отриманих результатів планується залучення групи незалежних експертів – провідних фахівців із зимового утримання автомобільних доріг, які мають практичний досвід роботи у даній галузі понад 10 років.

Реалізація МАІ дозволила розрахувати нормалізований вектор пріоритетів, що відображає питому вагу кожного критерію. Для підтвердження об'єктивності та наукової обґрунтованості отриманих результатів було проведено математичну перевірку узгодженості думок експерта. Процедура передбачала розрахунок показника узгодженості та індексу узгодженості, на основі яких визначалося відношення узгодженості. Згідно з методологією, система ваг вважається достовірною, якщо значення відношення узгодженості не перевищує 0,1 [8]. В проведеному дослідженні відношення узгодженості склало 0,059, що свідчить про повну відсутність внутрішніх протиріч у розрахунках та підтверджує, що отримана система вагових коефіцієнтів є математично достовірною і може бути використана для подальшого вибору засобів снігозатримання на підставі проведення багатокритеріального аналізу різних видів тимчасових засобів снігозатримання для Східного регіону України (таблиця 1).

Таблиця 1 – Багатокритеріальний аналіз різних видів тимчасових засобів снігозатримання для Східного регіону України

Критерій	Вага ( $W_i$ )	Дерев'яні щити 1,5 x 2 м	Дерев'яні щити 2 x 2 м	Хмизові щити	Щити з шин	Щити з полімерної	Снігові траншеї	Снігові вали	Снігові стіни
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Трудоемність	0,052	0	0.5	0	0	2	1.5	1	0
2. Матеріалоемність	0,031	0	0.5	1	2	1	2	2	2
3. Обсяг снігоприносу	0,214	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	2

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4. Естетичність	0,009	0.5	0.5	1	0	1.5	1	1	1
5. Екологічність	0,016	1	1	2	0	1	2	2	2
6. Доступність матеріалів	0,039	0.5	1	1	1.5	0.5	1.5	2	0.5
7. Популярність	0,050	1.5	2	0	0	1	2	2	0
8. Досвід застосування	0,075	2	2	1	0.5	1	2	2	0.5
9. Оперативність встановлення	0,138	0	0.5	0	0	2	2	1.5	0
10. Зручність транспортування	0,082	0	0.5	0.5	0	2	2	2	2
11. Зручність встановлення	0,046	0	0.5	0	0	1.5	2	2	0
12. Погодно-кліматичні умови	0,082	1.5	1.5	1	1	1.5	0.5	0.5	1
13. Реагування на зміни	0,116	0	0	0	0	1	2	2	0
Підсумковий бал	-	0,62	0,92	0,58	0,38	1,46	1,62	1,46	0,77

Використання вагових коефіцієнтів, що відповідають специфіці Східного регіону України показало, що в умовах степової зони, де визначальними факторами є обсяг снігоприносу (0,214) та оперативність (0,138), безумовними лідерами стали снігові траншеї (1,62), вали та сітки (1,46). Найвищий бал траншей обумовлений здатністю техніки швидко створювати багатошаровий захист на великих відстанях. Натомість дерев'яні щити (0,62-0,92), попри солідний досвід застосування, демонструють незадовільні підсумкові показники. Їхня висока снігоємність повністю нівелюється нульовими значеннями за оперативність (0,138) та транспортування (0,082). Аналогічно, снігові стіни (0,77), попри відмінну ефективність, виявляються непридатними через критичну трудомісткість (0,052) та повну відсутність оперативного реагування (0,116). Результати багатокритеріального аналізу підтверджують, що універсального засобу не існує, проте майбутнє снігозахисту лежить у цифровізації та повної механізації, в основі яких може бути використаний запропонований в роботах [6, 7] підхід. Також прогнозується поступове витіснення важких дерев'яних конструкцій легкими композитними та полімерними аналогами, які мають термін експлуатації понад 10 років.

#### Література.

1. Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг : ДСТУ 9185:2022. [Чинний від 2023–09–01]. Київ : УкрНДНЦ, 2023. 82 с.
2. П Г.1-218-118:2005. Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. Київ, Харків, 2005. 111 с.
3. Догадайло О.О. Курс-ресурс (дистанційний) з дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг (4Д)» URL: <https://dl2022.khadi-kh.com/course/view.php?id=1297>.
4. Догадайло О.О. Досвід розроблення пропозицій щодо постійного снігозахисту під час реконструкції автомобільної дороги. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. Вип.86. С. 121-129.
5. Покуса Я.П., Догадайло О.О. Тимчасовий снігозахист автомобільних доріг. *86-та Міжнародна наукова конференція студентів університету. Секція «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»* : зб. наук. праць за матер. 86-ї Міжнар. наук. конф. студ. універ., 9-10 квіт. 2024 р. Харків : ХНАДУ, 2024. С. 123-127.

6. Догадайло О.О., Догадайло Я.В. Ефективність використання різних видів тимчасових засобів снігозатримання. *Improvement of highways construction, reconstruction and maintenance methods : Collective monograph*. Karlsruhe, Part 2. 2024. P. 194-226, 473-475. <https://doi.org/10.30890/978-3-98924-019-3.2024-06> (дата звернення: 22.02.2026).

7. Догадайло Я.В. Обґрунтування вибору тимчасових засобів снігозатримання за критерієм ефективності їх застосування : кваліфікаційна робота магістра. Науковий керівник : Смолянук Р.В. Харків, 2025. 84 с.

8. Saaty T. L. How to make a decision : The analytic hierarchy process. *Interfaces*. 1994. № 24(6), Pp. 19-43. URL: <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19> (дата звернення: 10.03.2026).

## **ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИПРОБУВАННЯ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ГРУНТІВ**

*Онуфрієв В. Є., аспірант*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Смолянчук Р. В., к.т.н., професор*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

### **Вступ та актуальність дослідження**

Актуальність впровадження ефективних систем дистанційної освіти сьогодні об'єктивно обумовлена комплексом соціально-економічних та безпекових факторів, що стрімко трансформують освітній простір. Попри те, що дистанційне навчання здатне забезпечити стабільну комунікацію між учасниками освітнього процесу, критичним системним викликом залишається питання якісної практичної підготовки фахівців, зокрема проведення лабораторних робіт в онлайн-форматі. Для вирішення цієї проблеми та підвищення якості засвоєння складного технічного матеріалу необхідним є впровадження віртуальних лабораторних комплексів. Такі програмні системи не лише забезпечують наочну візуалізацію технологічних процесів, але й гарантують високий рівень безпеки та є економічно доцільнішими в експлуатації. Хоча безпосередня фізична взаємодія з реальним обладнанням залишається пріоритетною, інтеграція віртуальних симуляторів на сьогодні є стратегічно важливим кроком розвитку освітньої інфраструктури.

### **Концептуальні засади віртуальних лабораторій**

У науковому дискурсі віртуальна лабораторія розглядається як спеціалізований програмно-апаратний комплекс, що забезпечує можливість виконання експериментальних досліджень без безпосереднього фізичного контакту з матеріальною установкою. Відповідно до архітектурних рішень, під цим терміном маються на увазі переважно два типи інноваційних систем. Перший тип — це лабораторні установки з віддаленим доступом, інфраструктура яких включає реальне обладнання та захищені телекомунікаційні канали зв'язку. Другий тип передбачає повністю цифровий підхід, за якого всі термодинамічні, фізичні та хімічні процеси імітуються виключно за допомогою комп'ютерного моделювання. Саме такі спеціалізовані програмні середовища і становлять собою віртуальні лабораторії у їхньому вузькому (програмному) трактуванні.

### **Технології 3D-моделювання просторових об'єктів**

Технології сучасної тривимірної графіки широко застосовуються для комплексного проєктування цілісних функціональних елементів, кінематичних механізмів та масштабних інженерних споруд. Процес створення тривимірних об'єктів для віртуальної лабораторії є універсальним. Технологічний алгоритм моделювання базується на фундаментальних принципах полігональної графіки

— математичних маніпуляціях із вершинами, ребрами та полігонами. Розробка віртуальних зразків обладнання чи дорожньо-будівельних матеріалів може успішно здійснюватися в будь-якому професійному середовищі тривимірного проектування, наприклад, Blender 3D, Autodesk 3ds Max, Maya, Cinema 4D (Autodesk, 2026a, 2026b; Blender Foundation, 2026; Maxon, 2026). Методологія просторового моделювання у таких комплексах здебільшого базується на використанні базових тривимірних примітивів (куб, циліндр, сфера, площина), які шляхом топологічних трансформацій перетворюються на складні моделі.

Ключовою умовою для подальшої інтеграції створених моделей до інтерактивного середовища є підтримка індустріальних стандартів експорту даних. Використання універсальних форматів (зокрема, .fbx або .obj) забезпечує безшовне перенесення просторової геометрії моделі, параметрів UV-розгортки та базових характеристик матеріалів.

### **Текстурування геометричних моделей та UV-розгортка**

Для досягнення високого рівня реалістичності застосовується процедура текстурування (Texture mapping) — програмний метод надання поверхні 3D-моделі специфічних оптичних та фізико-механічних характеристик (кольору, фактури, відбивної здатності). Математично алгоритм реалізується шляхом присвоєння кожній вершині моделі точних координат текстури у двовимірному просторі. Критично важливою складовою є UV-розгортка (UV mapping) — встановлення чіткої геометричної відповідності між просторовими координатами поверхні тривимірного об'єкта (X, Y, Z) та плоскими двовимірними координатами текстури (U, V). У більшості сучасних програмних комплексів налаштування матеріалів суттєво розширюється завдяки використанню систем спеціальних вузлів алгоритмічної обробки (Nodes).

### **Анімація та відтворення кінематики просторових об'єктів**

Невід'ємною складовою розробки віртуальних симуляторів є створення анімації. Перший підхід передбачає генерацію анімаційних послідовностей безпосередньо у середовищах 3D-моделювання за допомогою методів анімації за ключовими кадрами (keyframe animation) та створення віртуальних кінематичних ланцюгів (rigging). Другий підхід реалізується безпосередньо на етапі роботи в середовищі тривимірного рушія, де за допомогою програмних скриптів здійснюється процедурна анімація, що дозволяє системі динамічно генерувати рух у реальному часі (Unity Technologies, 2026).

### **Інтеграція об'єктів до 3D-рушія та система колайдерів**

Наступним кроком розробки є інтеграція створених просторових моделей до інтерактивного середовища обраного тривимірного рушія. Фундаментальні принципи роботи сучасних 3D-рушіїв, таких як Unity, Unreal Engine, Godot, є багато в чому тотожними (Epic Games, 2026; Godot Engine, 2026; Unity Technologies, 2026). Оскільки базовий інструментарій більшості платформ є концептуально подібним, ключовим критерієм вибору програмного середовища

виступає специфіка технічного завдання. У контексті освітніх віртуальних лабораторій фундаментальною вимогою є кросплатформеність. Тому оптимальним рішенням виступає використання технологій з підтримкою архітектури WebGL, що дозволяє компілювати високопродуктивні інтерактивні додатки безпосередньо для стандартних браузерів.

Для забезпечення фізичної взаємодії застосовується система колайдерів (Collider) — невидимих геометричних оболонок 3D-об'єкта. Оскільки під час обчислення фізики на колайдери складної форми накладено суворе технічне обмеження (вони не можуть бути вгнутими), генерується необхідна кількість примітивних колайдерів (сфер, кубів), які сукупно охоплюють необхідну зону взаємодії.

### **Програмування логіки та технологія Raycasting**

Функціональним ядром, що забезпечує інтерактивність віртуального симулятора, є розробка алгоритмічної логіки за допомогою програмних скриптів. Ці компоненти, створені на базі сучасних об'єктно-орієнтованих мов програмування, виконують роль зв'язуючої ланки між візуальною репрезентацією просторових об'єктів та прихованим математичним апаратом симуляції. На практичному рівні скрипти відповідають за обробку системних подій (event handling), жорсткий контроль послідовності станів віртуального експерименту, динамічний розрахунок змінюваних фізико-механічних показників (наприклад, зміну щільності чи температури ґрунту під час навантаження) та безперервну синхронізацію цих розрахункових даних із графічним інтерфейсом користувача.

Процес визначення точок взаємодії об'єктів у віртуальному середовищі реалізується за допомогою технології Raycasting. Цей метод являє собою обчислювальний процес проєктування геометричного променя з метою встановлення точних координат його перетину з колайдерами інших об'єктів віртуальної сцени. Він дозволяє системі в режимі реального часу перевіряти наявність перетинів та отримувати детальну інформацію про фізичний контакт, що є критично важливим для ініціації запрограмованих скриптами подій (наприклад, захоплення віртуального інструменту або зняття показників з приладів).

### **Висновки**

Наведений у дослідженні опис технологій моделювання та візуалізації становить собою виключно концептуальний огляд базових принципів розробки. Розглянуті етапи формують лише первинний, абстрактний фундамент розуміння архітектури віртуального середовища.

На практиці процес створення освітніх симуляторів для дорожньо-будівельної галузі є незрівнянно складнішим завданням. Реальна розробка вимагає не лише володіння інструментарієм тривимірної графіки, але й ґрунтовних знань у написанні програмної логіки, оптимізації обчислювальних процесів під жорсткі обмеження вебсередовища (WebGL) та створення точних

математичних моделей, здатних достовірно імітувати фізико-механічні властивості реальних ґрунтів і матеріалів.

### Література

1. Autodesk. (2026a). *Autodesk 3ds Max Help*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2024/ENU/>
2. Autodesk. (2026b). *Autodesk Maya Help*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2024/ENU/>
3. Blender Foundation. (2026). *Blender 3D Manual*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://docs.blender.org/manual/en/latest/>
4. Epic Games. (2026). *Unreal Engine 5 Documentation*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://docs.unrealengine.com/>
5. Godot Engine. (2026). *Godot Engine Documentation*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://docs.godotengine.org/>
6. Maxon. (2026). *Cinema 4D User Manual*. Вилучено 28 березня 2026, з <https://help.maxon.net/c4d/en-us/> Unity Technologies. (2026). *Unity User Manual*. Unity Documentation. Вилучено 28 березня 2026, з <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>

# ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ШЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

*Полянська А. М. ст. групи Д-42-22*

[lenapolanskaa6@gmail.com](mailto:lenapolanskaa6@gmail.com)

*Харківській національний автомобільно-дорожній університет*

*Аринушкіна О.О. асистент*

[lenaarinushkina@gmail.com](mailto:lenaarinushkina@gmail.com)

*Харківській національний автомобільно-дорожній університет*

Сучасні умови експлуатації автомобільних доріг, що характеризуються постійним зростанням інтенсивності руху та осьових навантажень, вимагають впровадження надійних і довговічних конструктивних рішень. Одним із матеріалів, що задовольняє цим вимогам, є щебенево-піщані суміші (ЩПС) укріплені цементом. Вони зараз широко застосовуються завдяки високій несучій здатності та стійкості до деформацій та забезпечують рівномірний розподіл напружень у конструкції дорожнього одягу та зменшують ризик утворення деформацій та руйнувань.

У статті проаналізовано сучасні нормативні та технологічні вимоги до використання щебенево-піщаних сумішей, як неукріплених, так і укріплених мінеральними в'язучими (цементом), у дорожньому будівництві. Розглянуто класифікацію матеріалів згідно з [1], етапи приготування, укладання, ущільнення сумішей, а також методи операційного контролю якості.

Згідно [1] матеріали неукріплені – дорожньо-будівельні матеріали у вигляді щебеню, щебеню з гравію, гравію, щебенево-піщаних або гравійно-піщаних сумішей, які вироблені розсіюванням або подрібненням сировини та розподіленням її на фракції (або нефракційовані). Залежно від призначення такі суміші поділяють на такі типи:

– С1, С2, С3 – непереривчастого зернового складу (НП) для влаштування покриття дорожнього одягу;

– С4, С5, С6, С7, С8, С9, С10 – непереривчастого зернового складу (НП) для влаштування основи та/або додаткових шарів основи дорожнього одягу;

– С11, С12 – оптимального зернового складу для заклинювання основної фракції щебеню;

– С13, С14 – переривчастого зернового складу (ПР) для вирівнювання поверхні основи дорожнього одягу.

Відповідно до ДСТУ 9177-3:2022 щебенево-піщані суміші укріплені цементом – монолітний матеріал, який утворюється із суміші підбраного складу, ущільненої та витриманої за стандартних умов, внаслідок реакцій гідравлічного в'язучого і задовольняє вимоги до показників фізико-механічних властивостей у проєктні та, за потреби, у проміжні строки. Технологія дозволяє створити

монолітний, жорсткий шар, здатний ефективно розподіляти напруження від транспортних засобів на земляне полотно [4].

Згідно з Національним стандартом України [2], матеріали, укріплені мінеральними в'язучими, класифікують за найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача. Виділяють такі види сумішей:

- крупнозернисті (Кр): найбільший розмір зерен становить 40 мм.
- середньозернисті (Ср): найбільший розмір зерен – 20 мм.
- дрібнозернисті (Др): найбільший розмір зерен – 10 мм.
- піщані (П): найбільший розмір зерен – 5 мм.

За показниками міцності на стиск укріплені матеріали поділяють на марки: М75, М60, М40, М20 та М10. Вибір конкретної марки залежить від категорії дороги та розташування шару в конструкції дорожнього одягу. Додатково регламентуються показники міцності на розтяг при згині та морозостійкість.

В таблиці 1 наведено вимоги чинного стандарту до фізико-механічних властивостей щебенево-піщаних сумішей, укріплених цементом.

Таблиця 1 – Вимоги до марок укріплених матеріалів за міцністю в проектному віці

Марка матеріалу за міцністю	Міцність на стиск $R_{CT}$ МПа	Міцність на розтяг за згину $R_{згин}$ МПа, не менше ніж
М75	$7,5 < R_{CT} < 10,0$	1,5
М60	$R_{CT} > 6,0$	1,2
М40	$R_{CT} > 4,0$	0,8
М20	$R_{CT} > 2,0$	0,4
М10	$R_{CT} > 1,0$	0,2

Суміші виготовляють у змішувальних установках з примусовим перемішуванням згідно з технологічним регламентом або змішуванням на дорозі згідно з технологічною картою, затвердженими в установленому порядку.

Для виготовлення сумішей використовують:

- крупний заповнювач (КРЗ) – щебінь (щебінь з гравію), гравій;
- дрібний заповнювач (пісок);
- гранулометричні добавки (за потреби);
- мінеральне в'язуче;
- активатор (за потреби);
- добавки (за потреби) та воду.

Для забезпечення проектних фізико-механічних характеристик шару вихідні компоненти повинні відповідати суворим критеріям:

Заповнювач (ЩПС): Суміші повинні мати непереривчасту гранулометрію. Крива зернового складу має бути плавною для забезпечення максимальної щільності скелета матеріалу.

Як основне мінеральне в'язуче використовується портландцемент. Для шарів покриття застосовують цемент марки не нижче 400 (клас міцності 42,5), для шарів основи – не нижче 300 (клас міцності 32,5).

Таблиця 2 – Вимоги до гранулометричного складу щебенево-піщаних та піщано-гравійних сумішей, призначених для оброблення мінеральними в'язучими згідно [2]

D, мм	Повний залишок, % за масою, на ситі з розміром отворів, мм									
	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
40	0—10	20—40	35—65	50—80	60—85	70—90	75—95	80—97	85—98	87—100
20	—	0—10	20—40	35—65	50—80	60—85	70—90	75—95	80—97	85—100
10	—	—	0—10	25—40	45—65	60—80	70—85	75—90	80—95	85—100
5	—	—	—	0—10	30—40	50—65	65—80	75—85	80—90	88—100

Важливим технологічним параметром є час початку тужавлення цементу, який має становити не менше 2 годин, щоб забезпечити достатнє "технологічне вікно" для транспортування, розподілення та ущільнення суміші.

Розподілення суміші виконують асфальтоукладальниками (що забезпечує кращу рівність і попереднє ущільнення) або автогрейдерами.

Ключовим технологічним етапом є ущільнення, яке має бути завершено до початку тужавлення цементу. Ущільнення виконують котками на пневматичних шинах та вібраційними котками з гладкими вальцями. Коефіцієнт ущільнення готового шару має становити не менше 0,98 від максимальної лабораторної щільності [3]

Після завершення ущільнення матеріал потребує обов'язкового догляду для створення сприятливих умов гідратації цементу та запобігання утворенню усадочних тріщин. Догляд здійснюють шляхом розливу плівкоутворюючих матеріалів (наприклад, бітумних емульсій) або підтримання поверхні у вологому стані (засипання шаром піску з періодичним зволоженням) протягом перших 7 діб.

Використання щебенево-піщаних сумішей, укріплених цементом, є обґрунтованим технологічним рішенням, що значно підвищує експлуатаційну надійність дорожнього одягу. Обов'язковою умовою досягнення високих результатів є суворе дотримання вимог [2] щодо гранулометричного складу, властивостей в'язучого, а також забезпечення безперервного операційного контролю на всіх етапах виробничого циклу – від приготування суміші до догляду за свіжовлаштованим шаром.

### Література

1. ДСТУ 9177-2:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 2. Матеріали неукріплені
2. ДСТУ 9177-3:2022. Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими.
3. Костін Д.Ю. Конспект лекцій з дисципліни "Будівництво автомобільних доріг". – ХНАДУ.
4. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.

# ДОРОГИ З ПЕРЕРОБЛЕНОГО ПЛАСТИКУ: ДОСВІД НІДЕРЛАНДІВ ТА ІНШИХ КРАЇН

*Саркісов М.Г., ст. групи Д-32-23*

*Саркісов С.Є., ст. групи Д-32-23*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Яреценко Н.В., к.т.н., доцент*

*[netyasin4@gmail.com](mailto:netyasin4@gmail.com)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Щороку людство продукує сотні мільйонів тон пластикових відходів, значна частина яких потрапляє на полігони або в навколишнє середовище. Традиційне будівництво доріг з асфальту створює величезну кількість парникових викидів, потребує видобутку природних ресурсів і має обмежений ресурс служби. Це стимулює наукові та інженерні пошуки альтернативних матеріалів, одним із яких є використання переробленого пластику у дорожньому будівництві.

Дороги з пластику – це дорожні покриття, виготовлені повністю або частково з перероблених пластмасових відходів або включеннями пластику у звичний асфальтобетон.

Основні концепції використання переробленого пластику в дорожньому будівництві: PlasticRoad та Plastic-modified asphalt.

## **PlasticRoad – модульні дорожні конструкції з переробленого пластику**

Концепція PlasticRoad була ініційована нідерландською будівельною компанією VolkerWessels у співпраці з компаніями KWS та Wavin.

Перші пілотні проєкти були реалізовані у місті Zwolle (2018 р.) та пізніше у Giethoorn. Спочатку технологія тестувалася на велосипедних доріжках, що дозволило оцінити механічну стійкість, температурну поведінку та довговічність покриття в реальних умовах.

На відміну від традиційного асфальтобетону, PlasticRoad – це збірна модульна система, що складається з: порожнистих панелей із 100 % переробленого пластику; внутрішніх камер для прокладання кабелів, труб або систем дренажу; з'єднувальних замкових елементів; верхнього зносостійкого шару [1].

Технологічні особливості: фабричне виробництво (мінімізує будівельні відходи), низька вага конструкції (приблизно у 3-4 рази легша за бетон), швидкий монтаж (встановлення займає значно менше часу порівняно з традиційними методами), вбудована дренажна система – покращує управління зливовими водами.

Економічний аспект PlasticRoad: зменшення витрат на транспортування через малу вагу, скорочення часу перекриття доріг, потенційно менші витрати на обслуговування, використання вторинної сировини замість первинних ресурсів.

Виклики: висока початкова інвестиційна вартість, потреба в адаптації стандартів та нормативів, обмежена масштабованість (поки що використовується переважно для велосипедних доріжок).

Екологічний аспект PlasticRoad: утилізація значних обсягів пластикових відходів, зниження викидів CO<sub>2</sub> у порівнянні з виробництвом цементу або бітуму, можливість повторної переробки після завершення життєвого циклу.

Потенційні ризики: деградація матеріалу під впливом УФ-випромінювання, можливе утворення мікропластику, недостатність довгострокових емпіричних досліджень (понад 20-30 років експлуатації).

Соціальний аспект PlasticRoad: підтримка циркулярної економіки; формування позитивного іміджу інноваційної інфраструктури; підвищення екологічної обізнаності населення [2].

### **Plastic-modified asphalt – асфальт із додаванням переробленого пластику**

Суть технології Plastic-modified asphalt (PMA) – це традиційна асфальтобетонна суміш, до якої додають: подрібнені пластикові відходи (LDPE, HDPE, PP, PET); пластикові гранули; полімерні добавки для модифікації бітуму.

Пластик може вводитися двома методами: сухий метод - пластик додається безпосередньо до гарячої мінеральної суміші; мокрий метод – пластик змішується з бітумом перед додаванням заповнювача.

Дослідження показують, що plastic-modified asphalt: має вищу стійкість до утворення колійності; демонструє покращену водостійкість; підвищує термічну стабільність покриття; збільшує опір утворенню тріщин. Полімери виконують роль армуючої фази, що покращує адгезію між бітумом і мінеральними компонентами [3].

Економічний аспект PMA: часткове заміщення дорогого бітуму; зниження витрат на ремонт через підвищену довговічність; дешевша технологія порівняно з модульними системами.

Недоліки: необхідність ретельного сортування пластику, потреба у модернізації асфальтних заводів.

Екологічні ризики PMA полягають у виділенні мікропластику при стиранні; потенційного вивільнення токсичних речовин; складності вторинної переробки такого покриття.

Водночас деякі дослідження свідчать, що за правильного технологічного контролю рівень вивільнення частинок є мінімальним.

В таблиці 1 представлена порівняльна характеристика концепцій PlasticRoad та Plastic-modified asphalt.

Ці концепції - PlasticRoad та Plastic-modified asphalt – є різними підходами до інтеграції переробленого пластику в дорожнє будівництво [4]:

PlasticRoad – радикальна інфраструктурна інновація, орієнтована на циркулярну економіку.

Plastic-modified asphalt – еволюційне удосконалення традиційної технології.

*Досвід Нідерландів.* Проєкт PlasticRoad розробляється голландською компанією VolkerWessels і партнерами (KWS, Wavin та Total) із середини 2010-х років. Ідея полягає у виготовленні легких, порожнистих, модульних елементів дороги з 100 % переробленого пластику з можливістю прокладки комунікацій всередині.

Таблиця 1 – Характеристика концепцій PlasticRoad та Plastic-modified asphalt

Критерій	PlasticRoad	Plastic-modified asphalt
Тип конструкції	Модульна	Традиційний асфальт
Рівень інноваційності	Високий	Помірний
Масштаб застосування	Обмежений	Широкий
Початкова вартість	Вища	Нижча
Довгострокові дослідження	Обмежені	Наявні
Гнучкість впровадження	Потребує нової інфраструктури	Може інтегруватися в існуючі системи

Перші пілотні ділянки були побудовані у Нідерландах (велосипедні доріжки довжиною  $\approx 30$  м) для перевірки міцності та експлуатаційних характеристик.

Дослідження та практичні проєкти показують, що пластикові дороги можуть пропонувати наступні переваги: зниження викидів CO<sub>2</sub> під час виробництва та монтажу у порівнянні з традиційним асфальтом; модульність та швидкий монтаж, що скорочує терміни будівництва та пов'язані витрати робітників і техніки; ресурс служби (за окремими оцінками) може бути вищим через підвищену стійкість до тріщин і деформацій.



Рисунок 1– Схема інноваційного дорожнього покриття [5]

*Досвід інших країн.* Крім Нідерландів, досвід використання пластику у дорожньому будівництві здійснюють у Австралії, Великій Британії, Індії, США

та деяких країнах Африки та Азії. Загальні тренди свідчать про потенційні переваги у підвищенні механічних властивостей і довговічності покриття.

Шотландський стартап MacRebur розробив склад асфальтової суміші, в якому використовується перероблений пластик. Першу дорогу, виконану з використанням нового покриття, було прокладено у графстві Камбрія на північному заході Великобританії. Перероблений пластик замінив бітум – продукт переробки нафти, який використовують для затвердіння покриття. Замість бітуму в MacRebur стали застосовувати спеціальні крихітні гранули, виготовлені із пластикових відходів. У компанії стверджують, що «пластикові» дороги на 60 відсотків міцніші і приблизно в 10 разів довговічніші за традиційні асфальтні покриття [5].

Інженери Стенфордського університету стверджують, що переробка пластику в інфраструктуру є корисною, але в той же час вона повинна відповідати певним вимогам до продуктивності та зберігати низький вплив на навколишнє середовище.

У своїх дослідженнях вони розглянули приклади використання пластикових відходів для будівель доріг та тротуарів у Каліфорнії [6].

В Каліфорнії, у 2020 році компанія Caltrans заасфальтувала ділянку шосе 162 переробленим асфальтом і рідким пластиком, виготовленим з одноразових пластикових пляшок.



Рисунок 2 – Ділянка дороги у Каліфорнії покрита переробленим пластиком

В Індії технологія переробки пластику для доріг була запропонована ще у 2001 році інженером-хіміком Раджагопаланом Васудеваном, який розробив метод додавання пластикових відходів до дорожнього бітуму. Широко застосовується в дорожньому будівництві, особливо у сільських районах. Цей підхід полягає у подрібненні пластикових відходів та їх додаванні у бітумну суміш – plastic-modified asphalt. За оцінками, дороги такого типу довговічніші та мають кращі механічні властивості [7].

Британський інженер Тобі Маккартні розробив інноваційний процес, який дозволяє замінити більшу частину сирої нафти, основи бітуму в асфальті, на крихітні гранули пластика, створені з перероблених пляшок.

Міська рада Г'юма, компанії Close the Loop, Sustainability Victoria і RED Group разом побудували першу в історії австралійську дорогу з м'якого пластику, скла і тонера.

Покриття дороги – це м'які пластмаси з приблизно 200000 пластикових пакетів і упаковок, 63000 еквівалентів скляних пляшок, тонер з 4500 використаних картриджів для принтерів та 50 тонн переробленого асфальту. З цих матеріалів побудували дорогу у Крейгібурне, розташовану на півночі Мельбурна.

У Новій Зеландії, в Новому Плімуті, теж побудували дорогу з використаного пластика. Візуально дорожнє покриття нічим не відрізняється від звичайного асфальту, але, насправді, у складі покриття знаходиться більше 833000 перероблених банок з-під йогурту і молока.

Для України більш реалістичним у короткостроковій перспективі є впровадження технології plastic-modified asphalt через її сумісність з існуючими виробничими потужностями.

**Відновлення доріг за допомогою пластику** вперше запропонували використовувати для ямкового ремонту в Одесі екоактивісти ГО «Місто майбутнього» у 2019 році. А саме пропонувалося здійснити ремонт доріг у Київському районі Одеси за допомогою попередньо відсортованого переробленого та гранульованого пластику. Проте на перешкоді активістам стала спочатку пандемія, а згодом – повномасштабне вторгнення. Про свою екологічну ідею вони не забули та мають на меті впроваджувати це у майбутньому.

Серед переваг використання пластику визначено: пластик не буде отруювати навколишнє середовище, попадати в ґрунт чи атмосферу. Окрім того, використанням пластика значно підвищується коефіцієнт міцності дорожнього полотна. І навіть міф про те, що у разі опадів дороги, зроблені за допомогою пластику, будуть більш слизькими, не підтвердився на практиці [8].

Таким чином звичайні пластикові пакети, пляшки та кришки можуть виявитися корисними у розвитку та зміцненні дорожньої інфраструктури, і при цьому не шкодити навколишньому середовищу.

У 2022 році екоактивіст Прохорчук О.С. ініціював підписання електронної петиції №22/169146-еп «Пластикові дороги: асфальт із вторинної сировини», але вона не брала необхідну кількість голосів [9].

Дороги з переробленого пластику є прикладом інтеграції інновацій у практику сталого розвитку. Вони поєднують: екологічну ефективність (зменшення відходів і викидів), економічну доцільність (ресурсна оптимізація), соціальну користь (покращення інфраструктури та зайнятості).

У контексті глобальних викликів зміни клімату та зростання обсягів відходів такі технології можуть стати важливою складовою трансформації інфраструктури відповідно до принципів сталого розвитку.

У використанні пластику є потенціал для зниження експлуатаційних витрат за рахунок: зменшення потреби у природних ресурсах (щебінь, бітум), що часто здорожує бюджет проєкту; скорочення трудових витрат через швидкий

монтаж модульних елементів доріг.

Термін служби пластикових покриттів оцінюється як вищий або подібний до традиційних покриттів, що може зменшити частоту ремонту та довгострокові витрати.

Використання пластику у покриттях сприяє переробці великих обсягів пластикових відходів, що традиційно накопичуються на полігонах або забруднюють навколишнє середовище.

Заміщення частини традиційних матеріалів пластиком може зменшити загальний вуглецевий слід дорожнього будівництва, особливо у виробництві та транспортуванні бітуму та щебеню.

Однак існують питання щодо довготривалого впливу пластику на навколишнє середовище, зокрема можливого вивільнення мікропластикових частинок або токсичних речовин при старінні покриття, що вимагає подальших досліджень .

Проекти з переробки відходів та виробництва пластикових доріг створюють нові робочі місця на стадії сортування, переробки та виготовлення модулів доріг. Це може підтримувати локальну економіку та стимулювати розвиток циркулярних моделей виробництва.

Підвищення якості життя – більш довговічні покриття зменшують частоту ремонтів та обмежень руху, що сприяє зручності та безпеці дорожнього руху для населення.

Проблеми сприйняття – деякі спільноти можуть сумніватися у безпеці або надійності нових технологій без достатньої кількості наукових даних, що потребує освітніх кампаній та відкритого доступу до досліджень.

Дороги з переробленого пластику є перспективним напрямом у сталому будівництві інфраструктури. Досвід Нідерландів демонструє реальні інноваційні рішення (PlasticRoad), які можуть знизити витрати, скоротити викиди й переробити значну кількість пластикових відходів. Досвід Індії та інших країн підтверджує технічну життєздатність технології plastic-modified asphalt у різноманітних кліматичних і соціально-економічних умовах. Разом із тим, для широкого впровадження необхідні подальші наукові дослідження, стандартизація та оцінка довготривалих екологічних і соціальних наслідків.

## Література

1. VolkerWessels. PlasticRoad offers circular infrastructure made from plastic waste large scale [Електронний ресурс]. 2021. Режим доступу: <https://www.volkerwessels.com/en/nieuws/plasticroad-offers-circular-infrastructure-made-plastic-waste-large-scale> (дата звернення: 02.03.2026).
2. Recycled plastic roads pave the way to more sustainable infrastructure [Електронний ресурс] // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 21. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/21/9832> (дата звернення: 02.03.2026).
3. Plastic-Waste-Modified Asphalt for Sustainable Road Construction [Електронний ресурс] // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 21. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/21/9832> (дата звернення: 02.03.2026).
4. Use of plastic waste in road construction: A review [Електронний ресурс]. 2020. Режим

доступу:

[https://www.researchgate.net/publication/394992065\\_Use\\_of\\_plastic\\_waste\\_in\\_road\\_construction\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/394992065_Use_of_plastic_waste_in_road_construction_A_review) (дата звернення: 02.03.2026).

5. Пластикові дороги - на 70% дешевше звичайних і служать в 3 рази більше [Електронний ресурс]. 2025. Режим доступу: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/novosti/plastikovi-doroghi-na-70-dieshievshie-zvichainikh-i-sluzhat-v-3-razi-dovshie> (дата звернення: 01.03.2026).

6. Вчені розглядають можливість будівництва доріг та споруд з переробленого пластику [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://pragmatika.media/news/vcheni-rozhlidaiut-mozhlyvist-budivnytstva-dorih-ta-sporud-z-pereroblenoho-plastyku/> (дата звернення: 02.03.2026).

7. Using Waste Plastics in Road Construction [Електронний ресурс]. 2025. Режим доступу: [https://www.academia.edu/70909610/Using\\_Waste\\_Plastics\\_in\\_Road\\_Construction](https://www.academia.edu/70909610/Using_Waste_Plastics_in_Road_Construction) (дата звернення: 02.03.2026).

8. Які незвичні та екологічні методи ремонту доріг випробували на Одещині [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу: <https://yug.today/yaki-nezvychni-ta-ekolohichni-metody-remontu-dorih-vyprovovuvaly-na-odeshchyni/> (дата звернення: 02.03.2026).

9. Електронна петиція №169146 [Електронний ресурс]. 2022. Режим доступу: <https://petition.president.gov.ua/petition/169146> (дата звернення: 02.03.2026).

## ВПЛИВ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Скакун О.В., ст. групи Д-46-22  
[ivaschenko0917@gmail.com](mailto:ivaschenko0917@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
Кіяшко І.В., к.т.н., професор,  
[kiv62@ukr.net](mailto:kiv62@ukr.net)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Експлуатаційна надійність земляного полотна та і всієї конструкції дорожнього одягу залежить від багатьох факторів і тому її забезпечення є дуже багатогранною і складною проблемою. Аналіз тенденцій розвитку дорожнього господарства України в умовах ринкової економіки дозволяє зробити висновок про те, що за обмежених фінансових ресурсів на перше місце виступають роботи зі збереження мережі існуючих доріг та забезпечення їх нормального транспортно-експлуатаційного стану. У період експлуатації дороги внаслідок впливу температури повітря, атмосферних опадів, поверхневих та ґрунтових вод земляне полотно та дорожній одяг періодично звожуються та просихають, охолоджуються та нагріваються, промерзають та розморожують, тобто, мають певний водно-тепловий режим.

Для аналізу пересування та накопичення вологи висунуто принцип диференціального дослідження, згідно з яким водно-тепловий режим дорожньої конструкції класифікується на чотири розрахункові типи – дифузний, плівковий, капілярний та інфільтраційний [1]. В основу такого поділу покладено такі відмітні ознаки:

- 1) джерела зволоження;
- 2) ступінь водонепроникності дорожнього одягу, що характеризується відсутністю або наявністю у покритті тріщин, а в одязі водонепроникних шарів;
- 3) характер розподілу вологості по глибині дорожньої конструкції у несприятливі по зволоженню періоди року (весна, осінь);
- 4) інтервал сезонного коливання вологості, а отже, і деформованості ґрунту полотна.

Тип І. Дифузний режим. Покриття водонепроникне. Ґрунтові води залягають на глибині, що значно перевищує глибину активної зони. Вода в ґрунті знаходиться в рихлозв'язаному стані, пересувається у вигляді пари і утримується сорбційними силами. Вологість ґрунту сезонно змінюється від максимальної гігроскопічності до максимальної молекулярної вологоємності, а при інтенсивній конденсації водяної пари може досягати повної вологоємності. Характер розподілу вологості за товщиною дорожньої конструкції визначається зміною пружності пари та температури.

Тип II. Плівковий режим. Покриття водонепроникне. Основне джерело зволоження – плівкова вода. Вільні пари в ґрунті насичують водяні пари. Вода в ґрунті знаходиться в рихлозв'язаному стані і пересувається в рідкій формі під дією сорбційних сил, частково вода пересувається в пароподібній формі. Вологість протягом року змінюється від максимальної молекулярної вологоємності до повної вологоємності, а за тривалих зим може досягати верхньої межі пластичності. У холодну пору року максимальне зволоження відзначається на поверхні ґрунтової основи. Зовнішні ознаки такі ж, що і для типу I водно-теплого режиму, за винятком того, що в дорожньому одязі та ґрунтовій підставі відсутні щільні шари з малою паропроникністю.

Тип III. Капілярний режим. Покриття водопроникне. Основне джерело зволоження - вільна (капілярновосхідна) вода. Вода в ґрунті знаходиться у вільному стані під дією капілярних сил та сил тяжіння. Пересування її відбувається головним чином з допомогою дії капілярних сил. Характер розподілу вологості за товщиною дорожньої конструкції залежить від підвищення брівки полотна над рівнем ґрунтових вод і температурного режиму. До кінця періоду вологонакопичення в зоні промерзання полотна вологість ґрунту збільшується знизу вгору і досягає верхньої межі пластичності. При цьому ґрунтові води залягають близько, на глибині 2,0 – 3,0 м і менше від брівки полотна.

Тип IV. Інфільтраційний режим. Дорожній одяг водопроникний, ґрунтові води залягають глибоко, ґрунт полотна зволожується за рахунок атмосферних опадів та водяної пари в порах ґрунту, в окремих випадках зволоження може походити від застою води в бічних канавах. Атмосферні опади, як правило, зволожують конструкції за наявності у покритті тріщин через незадовільний стан доріг, а також у разі водопроникних покриттів.

У районах з глибоким заляганням ґрунтових вод значний вплив на водний режим полотна надає дорожній одяг і особливо нижній, граничний шар [2]. Обстеження існуючої мережі доріг показало, що нижні, граничні шари переважно влаштовані з дискретних, пористих матеріалів (щебеню, піску, піщано-гравійної суміші тощо), які є акумуляторами конденсованої вологи з водяної пари. Тому при ремонтах, реконструкції та будівництві нових доріг граничний шар необхідно влаштовувати із щільних матеріалів. Заміна пористих граничних шарів на щільні (наприклад, укріплені бітумом, цементом або комбіновано тощо) дозволить покращити не лише водно-тепловий режим, а й технологію будівництва та експлуатаційну надійність.

Водно-тепловий режим автомобільних доріг формується під впливом геофізичних комплексів: клімату, рельєфу місцевості, ґрунтів, рослинності, поверхневих та ґрунтових вод.

Отже, відносна вологість ґрунтів полотна як основна характеристика водно-теплого режиму перебуває у функціональній залежності від сумарного впливу геокомплексів на дорогу [2]:

$$W_{отн} = f(\sum_{i=1}^n \Gamma_i), \quad (1)$$

де  $W_{отн}$  – відносна вологість ґрунтів полотна;

$\Gamma_i$  – вплив клімату, роль ґрунтових та геологічних умов, вплив гідрології, вплив рельєфу місцевості та рослинності.

У свою чергу, величина відносної вологості лежить в основі функціональних залежностей:

$$E_y, \phi, C = f_1(W_{отн}, \delta), \quad (2)$$

де  $E_y$  – модуль пружності ґрунту;

$\phi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;

$C$  – Зчеплення ґрунту;

$\delta$  – щільність ґрунту.

На основі залежностей (1) та (2) маємо:

$$E_y, \phi, C = F(\sum_{i=1}^n \Gamma_i). \quad (3)$$

Залежність (3) вказує на необхідність при обґрунтуванні розрахункових характеристик ґрунтів полотна оцінювати вплив геокомплексів.

На стабільність земляного полотна та дорожніх одягів істотно впливають їх водно-тепловий режим та їх однорідність.

Споживчі властивості автомобільних доріг, їх транспортно-експлуатаційний стан, міжремонтні терміни служби дорожніх одягів та покриттів, надійність дорожньої конструкції значною мірою залежать від однорідності земляного полотна та дорожнього одягу, а також проведених ремонтних заходів [3]. Під час обстеження дорожніх конструкцій було встановлено, що найбільша неоднорідність вологості та щільності, а отже й міцності, спостерігається у верхній частині земляного полотна, у місцях наявних або відремонтованих тріщин, а також відремонтованих місцях ямкового ремонту. У цих місцях середня вологість ґрунту полотна на 10-35 % вище, проти місць, де не порушена поверхня покриття, що веде також до значного зниження щільності та міцності ґрунту та ослаблення у цих місцях дорожньої конструкції в цілому. Цю обставину необхідно враховувати у розрахунковий період та з урахуванням її здійснювати експлуатаційні заходи та організацію дорожнього руху.

### Література

1. Семенов В.А. Якість та однорідність автомобільних доріг. - К.: Вища школа, 1990.
2. Золотар І.А., Пузаков Н.А., Сіденко В.М. Водно-тепловий режим земляного полотна та дорожнього одягу. - К.: Будівельник, 1971.
3. Стороженко М.С. Формування та підвищення технічного рівня міських автомобільних доріг. - Київ УМК ВО, 1989.

# ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ПІСЛЯ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ

*Смолянук Р.В., к.т.н., професор,*

*[rovlsm@yahoo.com](mailto:rovlsm@yahoo.com),*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Мачула В.І., студент гр. Д-21а-24,*

*[smalia@ukr.net](mailto:smalia@ukr.net)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Визначенню поняття нерівність (або рівність) існує багато підходів і трактувань. Водії та пасажери її характеризують на основі власного відчуття (коливання, вібрація, шум), проектувальники за впливом на динамічні характеристики (динаміка руху автомобіля, робота двигуна, режим руху автомобіля і взагалі транспортного потоку), будівельники за відхиленнями від проектних профілів, експлуатаційники за коливаннями автомобіля. Нерівність дорожніх покриттів – це якісний стан поверхні проїзної частини, що забезпечує високі споживчі властивості дороги (забезпечення розрахункової швидкості руху автомобілів, комфортність, безпека дорожнього руху та екологічна безпека). Нерівність покриття в багатьох країнах виступає в якості комплексного показника, що характеризує стан дороги в цілому.

Забезпечення потрібної рівності покриття дороги [1] є складним процесом. На кінцеву нерівність покриття впливають як технологічні аспекти влаштування кожного з шарів дорожнього одягу, так і нерівність попереднього шару. По мірі наближення до покриття вартість шарів збільшується, а товщина зменшується. Шарами покриття дуже часто не вдається компенсувати нерівності основи. Очевидно, що формування кінцевої рівності покриття дороги необхідно починати з формування рівності ґрунтової основи. Ґрунтова основа не повинна мати дефектів і нерівностей, які неможливо компенсувати або «згладити» верхніми шарами. На нашу думку питанню контролю рівності шарів основи в наукових працях і нормативних документах приділяється недостатньо уваги [2].

Розглянемо методи і обладнання для контролю нерівності та визначмо його придатність для оцінки рівності різних шарів.

На початку 80-х років ХХ століття фахівцями Світового банку було обґрунтовано класифікацію методів та методик оцінювання рівності дорожнього покриття, яка охоплює чотири основні класи [3-5]:

I клас. Методи статичного профілювання.

До цієї категорії належать методики, що базуються на використанні базових геодезичних інструментів (нівелірів, контрольних рейок або рівнів). Вимірювання здійснюється шляхом фіксації висотних позначок у поздовжньому напрямку за однією або двома коліями накату. Ключовою особливістю приладів даного класу є значна трудомісткість процесу та низька продуктивність виконання робіт.

II клас. Системи безпосереднього вимірювання мікропрофілю.

Даний клас охоплює високотехнологічне обладнання, оснащене лазерними (рис. 1), ультразвуковими або акустичними датчиками. Прилади забезпечують високошвидкісну фіксацію відстані від базової площини до поверхні покриття. Оцінювання рівності здійснюється шляхом математичного моделювання руху еталонного («золотого») транспортного засобу за отриманим профілем.



Рисунок 1 – Установка сканування покриттів штату Техас (США)

На основі цієї методики визначається International Roughness Index (IRI) — Міжнародний індекс рівності. Показник IRI, розроблений фахівцями Мічиганського університету на замовлення Світового банку, на сьогодні є одним із фундаментальних параметрів діагностики доріг у світовій практиці.

III клас. Прилади динамічної (інерціальної) дії.

До третього класу віднесено системи, що реєструють динамічний відгук механізмів приладу під час проїзду мобільної лабораторії з фіксованою швидкістю. До цієї групи належать: поштовхоміри різних модифікацій; причіпні установки, що фіксують параметри коливань підресореної частини транспортного засобу.

IV клас. Методи суб'єктивного експертного оцінювання

Ця категорія передбачає візуальну оцінку стану об'єкта кваліфікованим експертом. Оцінювання проводиться за спеціалізованими шкалами, які дозволяють корелювати стан дорожнього покриття з показником IRI або іншими індикаторами експлуатаційної придатності.

Для ґрунтової основи і щебених шарів потрібно використовувати обладнання з найбільшою дискретністю для локалізації дефектів і проблемних ділянок. Але саме для цих шарів не бажано використовувати лазерні та інші установки II класу через особливості поверхні таких шарів. Тому треба

використовувати триметрові рейки, нівелювання і інші прилади, що відносяться до I класу.

Для всіх зв'язних шарів треба використовувати обладнання 2 класу в режимі максимальної дискретності для локалізації і наступної ліквідації всіх можливих дефектів.

Остаточне формування рівності здійснюється під час вкладання фінального шару покриття. Тому цьому процесу необхідно приділяти особливу увагу.

Для досягнення як поздовжньої, так і поперечної рівності, а також для забезпечення водовідводу з майбутнього покриття встановлюються стояки, так звані висотні відмітки. Саме за ними, уздовж краю майбутньої проїжджої частини, натягується струна, на яку і буде орієнтуватися асфальтоукладальник при розподілі асфальтобетонної суміші.

Основними принципами роботи асфальтоукладача, що забезпечують максимальну однорідність покриття та рівність, є дотримання нормативного технологічного режиму укладання, а також плавність і безперервність його роботи, що забезпечується узгодженням продуктивності асфальтоукладача, товщини шару, що укладається, дальності транспортування асфальтобетонної суміші, кількості і вантажопідйомності автосамоскидів. Завантаження бункера асфальтоукладача необхідно робити плавно без ривків і різкого підйому кузова автосамоскида, при цьому бажано спочатку підняти його з закритим заднім бортом на (1/4 – 1/3) повної висоти підйому, щоб зрушити суміш, а потім плавно і поступово висипати суміш в бункер укладача.

Один з найважливіших факторів який впливає на кінцеву рівність асфальтобетонного покриття це швидкість з якою рухається асфальтоукладач в поєднанні з частотою удару трамбувального бруса встановленого на гідравлічній плиті. Від частоти ударів бруса залежить початкова щільність, ці фактори в подальшому при ущільненні суміші будуть впливати на загальну рівність покриття.

Дефекти асфальтобетонних шарів покриття які утворюються при укладці асфальтобетонної суміші можна розділити на дві групи:

- пов'язані з технічним станом, регулюванням і застосуванням обладнання;
- викликані властивостями асфальтобетонної суміші.

Якщо причиною дефекту є технологічні властивості суміші, то її зазвичай усувають внесенням змін до складу суміші або в операції її приготування, зберігання і транспортування. Деякі дефекти можуть бути одночасно пов'язані з обладнанням і властивостями суміші.

Дефекти які виникають при улаштуванні асфальтобетонної суміші і впливають на рівність покриття:

- хвиляста поверхня – короткі хвилі;
- хвиляста поверхня – довгі хвилі;
- розрив покриття по всій ширині;
- розрив покриття в середині;
- розрив покриття по краях;

- нерівномірна структура покриття;
- недостатнє попереднє ущільнення;
- неякісний поздовжній шов;
- неякісний поперечний шов;
- поперечні тріщини;
- зсув покриття при ущільненні катком;
- сліди катка;
- недостатнє ущільнення покриття.

Причини дефектів:

- низька температура суміші;
- температурна неоднорідність суміші;
- сегрегація суміші (поділ);
- нераціональний склад суміші по бітуму;
- невірний склад суміші по заповнювача;
- стояння катка на гарячому покритті;
- швидка зміна напрямку руху катка;
- неякісна підготовка основи.

Для встановлення залежності нерівності покриття від нерівності основи були проведені експериментальні дослідження. В ході експерименту було проведено порівняння рівності щебеневого шару та асфальтобетонного покриття за індексом IRI. Дані оброблялися у програмі ProVAL.

Відстань (м)	Рівність асфальтобетонного покриття по міжнародному індексу IRI (м/км)	Рівність щебеневого шару по міжнародному індексу IRI (м/км)
10	1,40	1,51
20	1,45	1,55
30	1,47	1,61
40	1,44	1,60
50	1,46	1,63
60	1,43	1,56
70	1,44	1,65
80	1,42	1,58
90	1,44	1,60
100	1,43	1,58

Рисунок 2 – Отримані дані вимірювань шарів дорожнього одягу

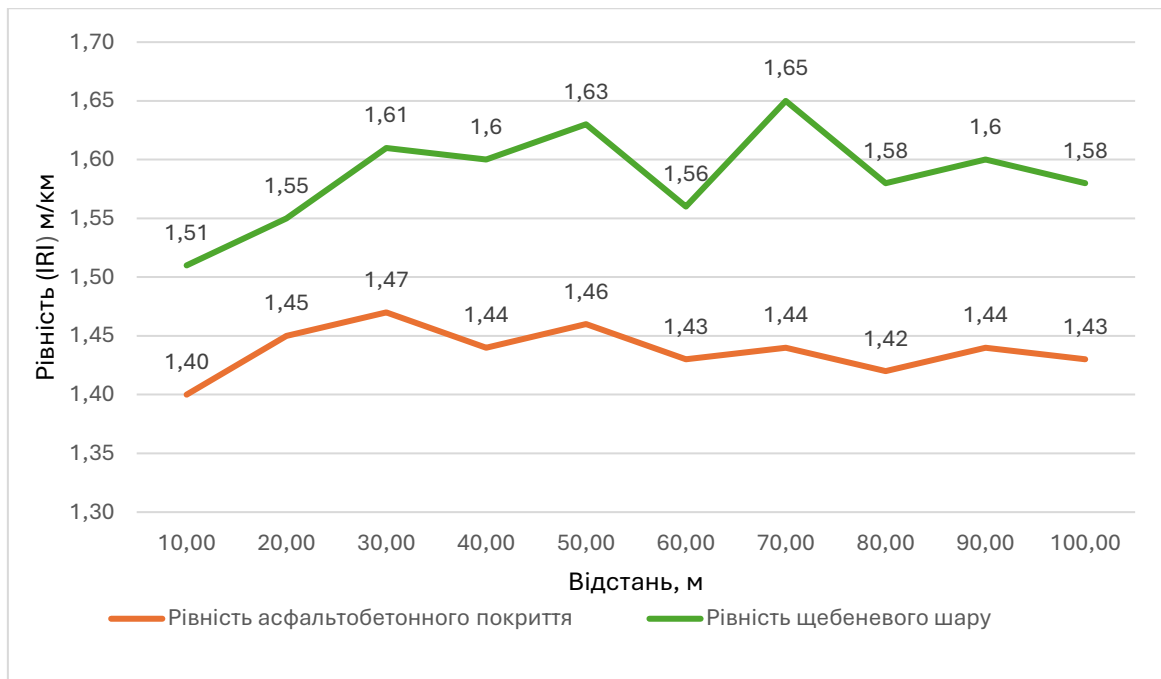


Рисунок 3 – Порівняння рівності шарів дорожнього одягу

Аналіз результатів показав динаміку зміни рівності на ділянці довжиною 100 метрів. На зазначеній ділянці виконувалось безперервне вкладання одного типу суміші. Налаштування асфальтоукладача не змінювались, він рухався з постійною швидкістю. Ми бачимо чітку залежність: чим вища якість підготовки нижнього шару, тим легше досягти нормативних показників на верхніх шарах дорожнього одягу.

### Література:

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 112 с.
2. Смолянук Р.В. Оцінка експлуатаційного стану дорожніх покриттів на основі вдосконалення методів вимірювання рівності та зчпних якостей: дис. ... кандидата техн. наук: 26.10.05 / Смолянук Роман Володимирович. Х., 2005. – 157 с.
3. Sayers M. W., Gillespie T. D., Queiroz C. A. The International Road Roughness Experiment (IRRE): Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements. World Bank Technical Paper. 1986. No. 45. 453 p.
4. ASTM E1926-08(2021) Standard Practice for Computing International Roughness Index (IRI) from Longitudinal Profile Measurements. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2021. 7 p.
5. ASTM E950/E950M-22 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling System. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2022. 9 p.

# СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ДЕТЕКТУВАННЯ ДОРОЖНІХ ОБ'ЄКТІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

*Смолянук Р.В., к.т.н., професор,*

*[rovlsm@yahoo.com](mailto:rovlsm@yahoo.com),*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Халін С.М., аспірант гр. Д-31а-23,*

*Халін О.М., аспірант гр. Д-31а-23,*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Сьогодні питання забезпечення безпеки дорожнього руху безпосередньо пов'язане зі станом технічних засобів організації дорожнього руху — зокрема дорожніх знаків та дорожньої розмітки.

Незважаючи на розвиток інфраструктури, на практиці ми часто стикаємося з проблемами відсутності або пошкодження дорожніх знаків, а також зношення чи втрати видимості дорожньої розмітки. Це безпосередньо впливає на безпеку руху, особливо в складних погодних умовах та в нічний час.

Традиційні методи обстеження залишаються трудомісткими та суб'єктивними, оскільки значною мірою залежать від людського фактору. Саме тому актуальним є впровадження автоматизованих систем на основі комп'ютерного зору та штучного інтелекту.

## **1. Існуючі підходи до відеодіагностики**

Існуючі системи відеодіагностики застосовуються як для аналізу дорожніх знаків, так і для оцінки стану дорожньої розмітки. Системи безперервного запису дозволяють отримати повну інформацію про стан дороги, включаючи розмітку, однак потребують значних ресурсів для обробки. Системи циклічної дії зменшують обсяг даних, але можуть пропускати окремі дефекти, особливо локальні пошкодження розмітки. Сучасні мобільні лабораторії використовують комплекс сенсорів — камери, GPS, інерційні системи — і дозволяють отримувати дані як про геометрію дороги, так і про стан її елементів. Проте навіть ці системи часто потребують подальшої ручної інтерпретації результатів.

## **2. Існуючі алгоритми детектування дорожніх об'єктів**

Умовно всі підходи до детектування дорожніх об'єктів можна розділити на дві основні групи: класичні методи комп'ютерного зору, які базуються на аналізі кольору та геометрії, та сучасні підходи на основі глибокого навчання, які використовують нейронні мережі.

Класичні методи комп'ютерного зору широко застосовуються як для детектування дорожніх знаків, так і для виявлення дорожньої розмітки. Методи на основі кольору є ефективними для обох типів об'єктів, однак суттєво залежать від умов освітлення та погодних факторів. Методи на основі форми добре працюють для знаків, але менш ефективні для розмітки, оскільки вона має складну та протяжну геометрію.

Для аналізу дорожньої розмітки часто використовуються:

- детекція ліній (перетворення Хафа),
- edge-detection (алгоритм Канні),
- морфологічні операції.

Комбіновані підходи та класичні алгоритми машинного навчання дозволяють підвищити точність, однак залишаються обмеженими в складних умовах експлуатації.

Основна проблема таких методів полягає в тому, що вони дозволяють визначити наявність об'єкта, але не дають можливості повноцінно оцінити його технічний стан. Це обмеження стало передумовою переходу до більш складних підходів, що базуються на штучному інтелекті та глибокому навчанні.

Сучасні методи базуються на використанні згорткових нейронних мереж.

CNN (Convolutional Neural Networks, або згорткові нейронні мережі) — це клас моделей штучного інтелекту, спеціально призначених для обробки зображень, які автоматично виділяють характерні ознаки об'єктів, такі як контури, текстури та форми [4].

Для детектування дорожніх знаків застосовуються моделі типу:

- YOLO — швидкий алгоритм, який виконує детектування об'єктів у реальному часі за один прохід мережі [1, 2].
- Faster R-CNN — двоетапний алгоритм, який забезпечує вищу точність за рахунок попереднього визначення областей інтересу [3].

Для дорожньої розмітки більш ефективними є сегментаційні нейронні мережі (U-Net, DeepLab), що виконують попиксельну класифікацію зображення, а також lane detection моделі, які враховують геометрію дороги та контекст сцени.

Таким чином, моделі типу YOLO забезпечують високу швидкість роботи, Faster R-CNN — максимальну точність детектування, тоді як сегментаційні мережі та lane detection моделі є найбільш ефективними для задач аналізу дорожньої розмітки.

Перевагою сучасних AI-підходів є здатність працювати в складних умовах, враховувати контекст сцени та забезпечувати значно вищу точність порівняно з класичними методами [2–4].

### **3. Проблема оцінки технічного стану**

Незважаючи на ефективність сучасних методів, більшість з них орієнтована лише на детектування. У випадку дорожніх знаків це означає визначення їх наявності, а у випадку дорожньої розмітки — визначення її положення. Однак цього недостатньо для практичного використання. Існуючі системи однаково визначають як нову, так і зношену розмітку або знак як валідні об'єкти. Але з точки зору експлуатації — такі об'єкти можуть потребувати заміни або відновлення.

При цьому слід зазначити, що сучасні підходи на основі нейронних мереж створюють передумови для вирішення цієї задачі, однак у більшості існуючих реалізацій вони все ще використовуються переважно для детектування об'єктів.

Таким чином, задача оцінки технічного стану дорожніх об'єктів залишається відкритою і потребує подальших досліджень.

Для вирішення цієї задачі можуть застосовуватись різні методи аналізу характеристик об'єктів.

Для дорожніх знаків це, зокрема:

- аналіз кольору для визначення вицвітання,
- аналіз форми для виявлення деформацій,
- оцінка контрастності для визначення видимості.

Для дорожньої розмітки використовуються:

- аналіз яскравості та контрасту,
- оцінка ширини та суцільності ліній,
- аналіз ретрорефлективності, особливо в нічних умовах.

Крім того, застосовуються додаткові методи, такі як спектральний аналіз, використання інфрачервоних камер та тривимірний аналіз на основі лідарів.

#### **4. Перспективні підходи та оцінка якості системи**

Найбільш ефективним напрямом розвитку є використання комбінованого підходу, який об'єднує сучасні методи комп'ютерного зору та глибокого навчання у вигляді послідовного процесу обробки даних. Такий підхід включає кілька основних етапів. На першому етапі виконується детектування об'єктів, що дозволяє визначити наявність дорожніх знаків або елементів розмітки на зображенні. Далі здійснюється сегментація, яка дозволяє більш точно виділити область об'єкта та перейти від грубого визначення до детального аналізу його структури. Наступним етапом є аналіз характеристик об'єкта, зокрема кольору, форми, контрастності та геометричних параметрів. Саме на цьому етапі стає можливою оцінка технічного стану об'єкта. Завершальним етапом є прийняття рішення, яке може включати класифікацію стану об'єкта, визначення необхідності його заміни або формування рекомендацій для подальшого обслуговування.

Таким чином, комбінований підхід дозволяє перейти від простої фіксації дорожніх об'єктів до їх повноцінної оцінки з урахуванням технічного стану. Важливо підкреслити, що саме додавання етапу аналізу характеристик після детектування є ключовою відмінністю даного підходу від більшості існуючих систем. Для оцінки ефективності роботи такої системи використовуються стандартні метрики комп'ютерного зору. Для оцінки якості системи застосовуються метрики precision (точність), recall (відклик) та assigasy (загальна точність), які дозволяють оцінити як точність детектування, так і повноту виявлення об'єктів. Зокрема, precision (точність) характеризує частку правильно визначених об'єктів серед усіх знайдених, recall (відклик) — повноту виявлення об'єктів, а assigasy (точність) — загальну точність роботи системи. Використання цих метрик дозволяє об'єктивно оцінити ефективність такого підходу та порівняти його з існуючими рішеннями.

## Висновки

Таким чином, сучасні підходи до детектування дорожніх об'єктів можна умовно розділити на класичні методи комп'ютерного зору та сучасні AI-підходи на основі нейронних мереж. Класичні методи (аналіз кольору, форми, перетворення Хафа, edge-detection) є обчислювально ефективними, однак суттєво залежать від умов освітлення та не дозволяють надійно працювати в складних умовах. Крім того, вони не забезпечують можливості оцінки технічного стану об'єктів. Сучасні моделі глибокого навчання, такі як YOLO та Faster R-CNN, забезпечують значно вищу точність детектування та стійкість до зовнішніх факторів, тоді як сегментаційні моделі (U-Net, DeepLab) та lane detection підходи є ефективними для задач аналізу дорожньої розмітки. Разом з тим, більшість таких систем орієнтована лише на визначення наявності об'єкта, а не його стану. Комбінований підхід базується на використанні послідовності етапів обробки даних, що включає детектування, сегментацію, аналіз характеристик та прийняття рішення. Його ключовою відмінністю є додавання етапу аналізу технічного стану об'єкта. Саме це дозволяє перейти від задачі детектування до задачі оцінки стану дорожніх об'єктів.

Перевагами такого підходу є:

- можливість комплексної оцінки стану як дорожніх знаків, так і розмітки;
- підвищення об'єктивності та автоматизації оцінювання;
- можливість використання в системах моніторингу дорожньої інфраструктури в реальному часі;
- зменшення залежності від людського фактору.

Таким чином, комбіновані AI-підходи є найбільш перспективним напрямом розвитку систем відеодіагностики дорожніх об'єктів.

## Література:

1. Цюник Б. С., Муляревич О. В. Оцінка продуктивності та оптимізація моделей нейронних мереж YOLOv8 для розпізнавання цілей // *Computer Systems and Networks*. – 2024. – Vol. 6, No. 2. – С. 242–251. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2024.02.242>
2. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // *arXiv preprint arXiv:1804.02767*. – 2018.
3. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2017.
4. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // *Nature*. – 2015. – Vol. 521. – P. 436–444.

## СУЧАСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕКУЛЬТИВАЦІЙНИХ РОБОТ НА ВІДВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЯХ

*Стрембіцький В.Б., ст. групи Д-47-22*  
[strembit2003@gmail.com](mailto:strembit2003@gmail.com)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
*Кіяшко І.В., к.т.н., професор,*

[kiv62@ukr.net](mailto:kiv62@ukr.net)

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Одним з основних аспектів збереження природи є охорона та відтворення природних ресурсів, які піддаються все наростаючому техногенному впливу. Найбільш помітні та у багатьох випадках незворотні зміни відбуваються при видобуванні мінеральної сировини та функціонуванні переробних підприємств, спорудженні транспортних магістралей, трубопроводів. У таких умовах, особливо при відкритих розробках, дедалі більшої актуальності набуває рекультивація порушених земель.

Останніми роками різко посилилися процеси забруднення всіх компонентів довкілля. Навколо об'єктів добувної промисловості, кар'єрів, промислових підприємств, комбінатів на тисячах гектарів сформувалися техногенні пустелі, загинула навіть більшість мікроорганізмів у ґрунті. Експерти ООН зазначають, що техногенним опустелюванням уражено 30 % земної поверхні, і ця площа, непридатна для здорового життя людей, щорічно зростає на 6 млн. га. В Україні лише на територіях відкритих гірничих розробок щорічно відчужується і втрачається до 3 тисяч гектарів земельної площі. Тому рекультивації земель необхідно приділяти особливу увагу.

Мета рекультивації здебільшого подвійна: по-перше, зменшення площ, займаних відвалами, з мінімізацією шкідливого їхнього впливу на довкілля; по-друге, максимально можливе повернення порушених земель у землекористування, із забезпеченням необхідного рівня їхньої родючості.

Технологія рекультиваційних робіт, що склалася, передбачає проведення їх у два етапи. На першому етапі (гірничотехнічна рекультивація) проводиться зняття та складування родючого ґрунтового шару, розробка та укладання у відвали розкритих порід з наступними роботами з формування відвальних територій залежно від конкретного їх використання надалі. На другому етапі (біологічна рекультивація) здійснюють шляхом внесення добрив, посіву багаторічних трав та за допомогою інших спеціальних заходів відновлення родючості земель до необхідного рівня, залежно від способу використання земель.

Аналіз практичних методів здійснення рекультиваційних робіт у зонах відкритих кар'єрних розробок показує їхню недостатню ефективність. Головним

недоліком технології рекультивації є те, що процес рекультивації затягується на кілька років, що згубно відбивається на індексі родючості ґрунтового шару, що зберігається в буртах. Навіть за умови захисту родючого ґрунту від ерозії він уже через рік не здатний забезпечити вихідну врожайність сільськогосподарських культур, оскільки вона знаходиться в ізольованому стані та біохімічні процеси, що безперервно протікають у ній в умовах нормальної життєдіяльності, перериваються.

Пропонується наступний спосіб удосконалення робіт з рекультивації земель:

1) до початку розкривних робіт чітко визначається напрям використання території, що рекультивується в зоні кар'єру:

2) виходячи з потужності родючого шару та окремих складових розкривних порід, встановлюються межі складування родючого шару та розкривних порід;

3) токсичні розкривні породи повинні розроблятися і складуватися в місцях, що спеціально виділяються, з метою їх надійного поховання (яри, порожні гірські виробки тощо) або, в крайньому випадку, в нижні шари на території рекультивації із забезпеченням всебічної ізоляції;

4) розкривні породи, що видобуваються, після переміщення у виділену зону, підлягають пошаровому розрівнюванню та ущільненню з формуванням встановленого профілю та ухилів. Площа спланованої території та висота відвальних порід має бути узгоджена з обсягом родючого ґрунту та забезпеченням необхідної потужності родючого шару;

5) у міру остаточного формування спланованої площі на окремих ділянках відвальних порід здійснюють переміщення та планування родючого шару.

Така технологія вимагатиме, природно, додаткових витрат на роботи з планування та ущільнення розкривних шарів, але вони окупляться за рахунок суттєвого скорочення терміну повернення земель у землекористування, збереження родючості ґрунтового шару та відмови від виконання біологічної рекультивації земель.

### Література

1. Сиденко В.М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна. – К.: Будівельник, 1982.

# МЕХАНІКА РОБОТИ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Цикал Д. В., ст. групи Д-46-22*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Фоменко О.О. асистент*

*[lensanfom@ukr.net](mailto:lensanfom@ukr.net)*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

В даний час світове визнання отримало армування ґрунтових конструкцій полімерними матеріалами – геосинтетиками. Типовими прикладами застосування геосинтетиків є [1, 2]:

- армування під'їзних, тимчасових автошляхів на слабких ґрунтах;
- армування основ насипів авто- та залізниць на слабких ґрунтах;
- армування основ насипів авто- та залізниць, що влаштовуються на пальових основах;
- армування основ рекультивованих територій, розташованих на ґрунтах з яскраво вираженою неоднорідністю структури, а також наявністю порожнин і каверн;
- армування основ та покриттів полігонів для поховання відходів;
- армування крутих укосів та підпірних стінок.

Армуючи геосинтетики випускаються, як правило, у вигляді рулонних матеріалів. Перевагами застосування геосинтетиків у порівнянні з традиційними технологіями є їхня низька чутливість до присутніх у ґрунті в нормальних концентраціях агресивних речовин, простота укладання, тривала міцність, нижча вартість споруд у порівнянні з традиційними технологіями. У деяких випадках застосування геосинтетиків дозволяє використовувати місцевий ґрунт або уникнути заміни слабого ґрунту ґрунтом з вищими фізико-механічними характеристиками, що призводить до менших шкідливих впливів на навколишнє середовище [3].

Незважаючи на загальні позитивні якості, властиві армуючим геосинтетикам, їх застосування може обмежуватися в тих чи інших областях через суттєву різницю у властивостях, властивих полімерам, з яких виготовляються ті чи інші марки геосинтетиків, та способом виготовлення [2].

В даний час в якості армуючих геосинтетиків широко застосовуються тягнуті з перфорованого листа геосітки в основному з поліетилену високої щільності (ПЕНД) або поліпропілену (ПП), плетені геосітки з (ПП), поліаміду (РА) або високомодульного поліестеру (ПЕТ), а також ткані за спеціальною технологією полотна з (ПЕТ). За останні роки все ширше застосування отримують геосітки з полівінілалкоголю та арамідів, що виготовляються способом плетіння (рис. 1).

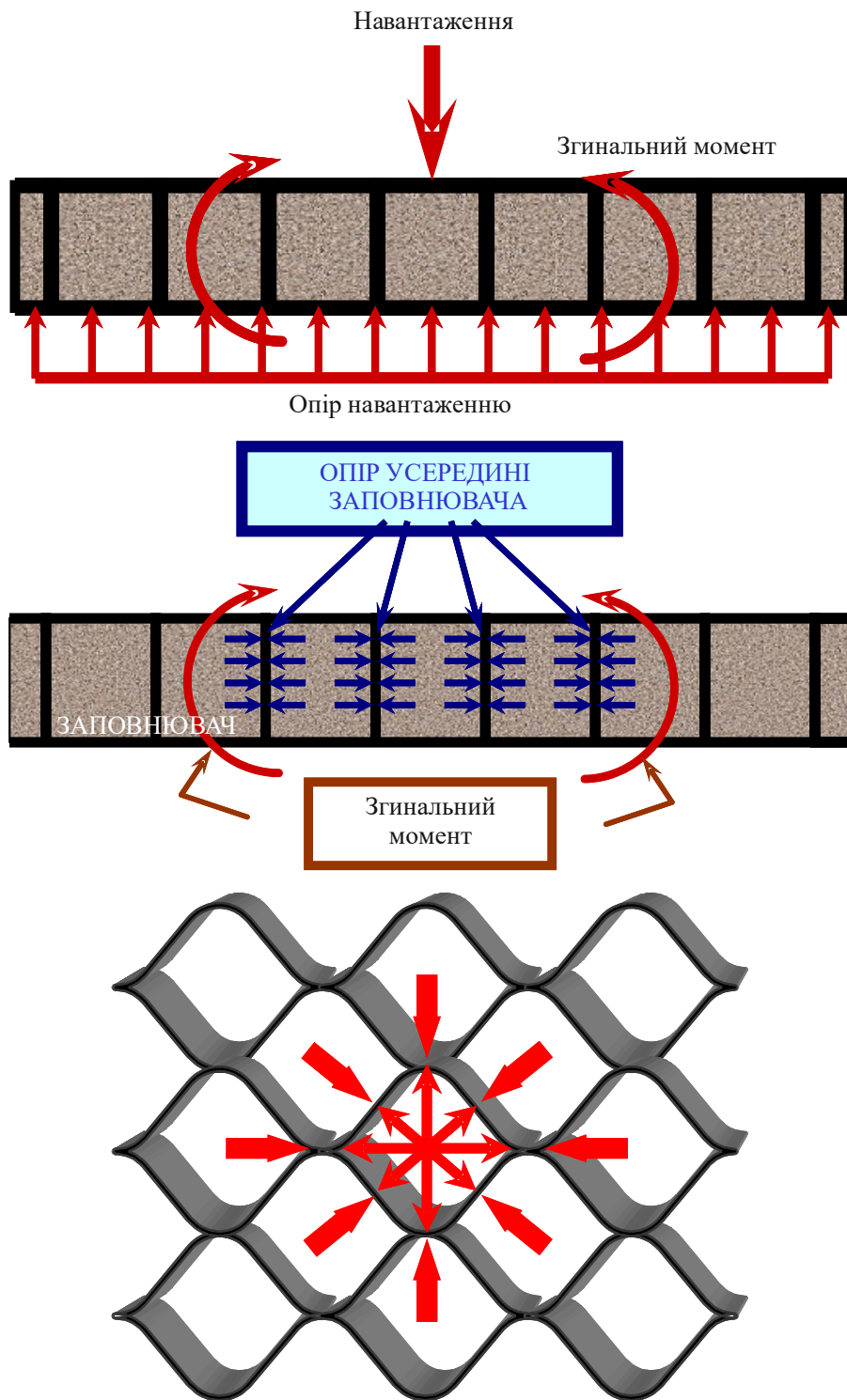
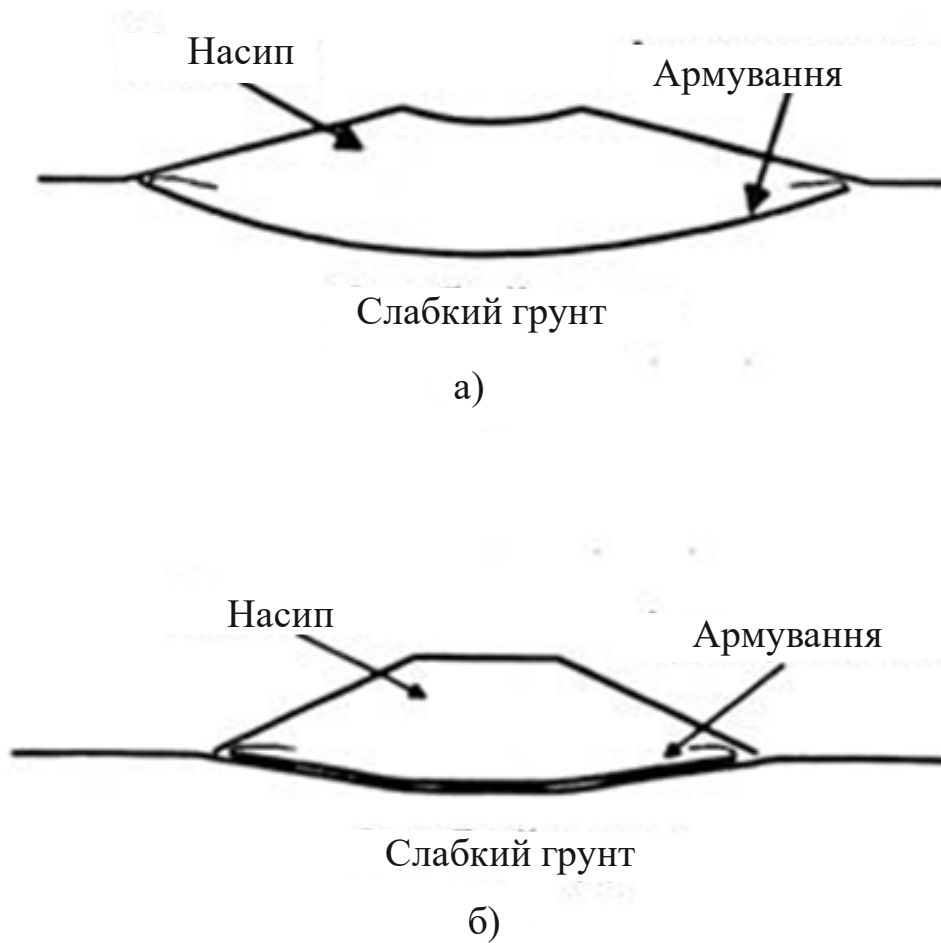


Рисунок 1 – Схема розподілу навантаження

Місце застосування геосинтетика визначає, які з наведених параметрів відіграють визначальну роль у виборі геосинтетичного матеріалу.

Так, для конструкцій тимчасових доріг, під'їзних шляхів тощо, де вплив навантажень короткочасний, можливе застосування армуючих геосинтетиків будь-яких типів. Для конструкцій з тривалим розрахунковим терміном служби та наявністю постійної складової зусилля на геосинтетик потрібно враховувати фактор повзучості полімеру та деформації армогрунтової конструкції, що допускаються.

На рис. 2 зображено насип на слабкому ґрунті, армований на основі геосинтетиком з великою повзучістю [4, 5].



а – до армування; б – після армування  
Рисунок 2 – Схема армування насипу

Характерно, що через деформації повзучості, що виникли після будівельного періоду, геосинтетик розтягнувся, насип розповзвся і утворилися деформації по верху насипу, які після влаштування дорожніх одягів вкрай нелегко компенсувати.

На рис. 2, б такий же насип проармована геосинтетиком з низькою повзучістю.

Всі деформації тіла насипу були компенсовані в будівельний період, а в процесі експлуатації деформації з основи залишилися практично незмінними, зважаючи на те, що по верху насипу деформацій не спостерігається.

### Література

1. Shuang Jia, BoWen Tai, Shou Chen Qi, Lei Li, Tao Chen Summary of research on frost heave for subgrade in seasonal frozen ground. Sciences in Cold and Arid Regions. 2021, Vol. 13 . Issue (3). P. 195-205.

2. Chathuri Maha Madakalapuge, Troyee Tanu Dutta, Didier Bodin, Jayantha Kodikara Numerical evaluation of temporal moisture variations in unbound pavements with thin seals. *Transportation Geotechnics*. Volume 35, July 2022, 100787.
3. МР В 2.3-02070915-849:2014 Методичні рекомендації щодо регулювання воднотеплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг. Київ, 2014. 61 с. (Інформація та документація).
4. *Geosynthetics in civil engineering* / Edited by R. W. Sarsby. CRC Press, Cambridge, England, 2007, 308 p.
5. Geotextile Fabric Application. URL: <http://www.erosionpollution.com/geotextile-fabric-application.html> (дата звернення 20.02.2026).

Збірник наукових праць

Секція «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»

88-а міжнародна наукова конференція студентів  
університету

30 березня – 03 квітня 2026 року

Матеріали опубліковано в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Р.В. Смолянюк  
Комп'ютерна верстка А.В. Сєдов

---

Підп. до друку Формат 60 x 84/16. Папір офсетний  
Гарнітура Times New Roman Суг. Друк цифровий  
Умов. друк. арк. Обл.-вид. арк.  
Зам. № \_\_\_\_\_, Тираж 60 прим.

---

Віддруковано ФОП Крамаренко Ю.М.  
Свідоцтво про держреєстрацію АБ №815827 від 22.03.13р.