

## ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ТА РУЙНУВАНЬ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ОБСТЕЖЕНЬ

Дмитрієв М.М., доктор технічних наук  
Гамеляк І.П., доктор технічних наук  
Попелиш І.І., кандидат технічних наук

Постановка проблеми. Автомобільні дороги є одним з найважливіших елементів транспортної системи держави і мають вирішальний вплив на соціальний, економічний розвиток країни, а стан і рівень розвитку її автомобільних доріг, безпосередньо впливає на основні економічні показники: валовий національний продукт, рівень цін і зайнятості населення, доходи бюджету та ін. Існуючий технічний стан автомобільних доріг України не задовольняє вимогам зростаючого об'єму вантажних та пасажирських перевезень, що призводить до зменшення швидкості транспортного потоку, підвищення транспортних та експлуатаційних витрат, зниження безпеки дорожнього руху. Сучасні одяги автомобільних доріг – достатньо складні конструкції, які включають шари із матеріалів з різними властивостями і підлягають дії багатократних навантажень від транспортних засобів та природно-кліматичних факторів. Недостатньо високий технологічний рівень при проектуванні, будівництві та експлуатації автомобільних доріг, поряд з низькою якістю будівельних матеріалів, збільшенням кількості великовантажних та великогабаритних транспортних засобів, призводить до передчасного виходу з ладу окремих ділянок дорожнього одягу, а при відсутності своєчасного ремонту веде до катастрофічного руйнування дороги в цілому.

Аналіз досліджень. На сучасному етапі для оцінювання несучої здатності конструкцій і якості дорожнього та аеродромного покриття використовують інструментальні та візуальні методи досліджень, у т.ч. різні методи неруйнівного контролю, які є більш раціональними, що пояснюється відносно низькою трудомісткістю таких методів, високою точністю одержуваних результатів для оцінки технічного стану дорожніх та аеродромних покриттів [1-3]. Одним із сучасних і розвинутих методів неруйнуючого контролю дорожніх одягів є тепловий неруйнуючий контроль (НК), що дозволяє надійно оцінювати технічний стан і якість об'єктів. До переваг даного виду НК відносяться високий ступінь точності проведеної діагностики, оперативність, інформативність, а також можливість суцільного й безперервного спостереження, безконтактність процесів контролю. Одним з високоефективних методів теплового неруйнуючого контролю (ТНК) є тепловізійний метод ТНК, або тепловізійне обстеження, яке здійснюється завдяки застосуванню тепловізорів - вимірювальних приладів, які «бачать» тепло й здатні фіксувати розподіл і найменші зміни температури обстежуваного об'єкта й зберігати побачене у вигляді інфрачервоних зображень і відео. Певній температурі на кольоровому моніторі тепловізора відповідає свій колір. Аномалії температур служать індикаторами дефектів, а величина температурних сигналів і їх зміна в часі лежать в основі кількісних оцінок тих або інших параметрів об'єктів. Інфрачервона термографія включає методи й засоби безконтактного аналізу теплового випромінювання фізичних об'єктів. Комп'ютерна обробка зображень із наступним формуванням кольорових термограм дозволяє представити результати зйомки в найбільш наочному виді [4-6].

Мета роботи полягає в удосконаленні методу діагностування дефектів та руйнувань дорожніх одягів за результатами тепловізійних обстежень.

Основна частина. Тепловізійні обстеження автомобільних доріг виконувалися на автомобільних дорогах з метою виявлення прихованих дефектів дорожнього полотна, впливу якості покриття й зовнішніх дефектів на його температурні значення, визначення показників навколишнього середовища, часу доби на діагностичну інформативність одержуваного температурного сигналу (при яких значеннях він, сигнал, буде мати максимальне значення, що суттєво полегшує інтерпретацію отриманих результатів виміру). Виміри проводилися як на бездефектних (зовні) покриттях доріг, так і на дорогах що мають зовнішні дефекти, такі як, тріщини (сітка тріщин), вибої, колійність, сліди (латки) від ямкового ремонту і т.і. Основним показником прихованих дефектів дорожнього покриття, є характерний розподіл температури по його поверхні, максимальна температура над поверхнею дефектної зони (в основному неякісний контакт верхнього шару з нижнім), з поступовим зменшенням температури при наближенні до бездефектної ділянки дороги. Іншим варіантом прихованої дефектності покриття є протилежна ситуація, коли над дефектною зоною фіксується зниження температури стосовно іншого покриття, у цьому випадку

діагностується близький підхід на даній ділянці дороги до поверхні підґрунтових вод. На основі теоретичних та експериментальних досліджень були розроблені методичні рекомендації щодо застосування тепловізорів для діагностування асфальтобетонних дорожніх покриттів. Основна сфера застосування цих рекомендацій - встановлення вимог до порядку та методів діагностування з використанням тепловізійного обладнання, методів оцінювання стану дорожніх покриттів і рекомендацій по проведенню ремонтних заходів. Рекомендації призначені для спеціалістів з теплового неруйнівного контролю дорожніх підприємств і організацій, що здійснюють технічне діагностування (огляд) покриттів дорожніх одягів з метою визначення їх технічного стану, з використанням тепловізійного обладнання для визначення прихованих дефектів (втрати міжшарового зчеплення (розшарування) шарів покриттів, пористості, неоднорідності) на автомобільних дорогах загального користування. При тепловому неруйнівному контролі покриттів автомобільних доріг використовується пасивний метод контролю тому що при експлуатації доріг відбувається поглинання (виділення) тепла за рахунок умов навколишнього середовища.

Тепловий контроль включає:

- аналіз конструкторської й технологічної документації дорожніх конструкцій;
- визначення кількісних значень температури в точках поверхні дороги;
- визначення додаткових характеристик стану поверхні дороги й навколишнього середовища;
- якісний і кількісний аналіз температурних полів на досліджуваній поверхні дорожнього покриття;
- виявлення зон з аномальною температурою, обумовленої наявністю дефектів у контрольованій ділянці дороги;
- визначення параметрів дефектів;
- оцінку якості дорожнього покриття.

Обробка результатів теплового контролю полягає в якісному й кількісному аналізі температурних полів дорожніх покриттів, допоміжних параметрів навколишнього середовища, що відносяться до об'єкта контролю. Якісний аналіз застосовують для оперативного контролю й оцінки стану дорожнього покриття по його температурних полях і виявлення температурних аномалій, за розташуванням яких й амплітуді виявленої аномалії ухвалюють рішення щодо того, чи відповідає виявлена аномалія прихованому дефекту.

Кількісний аналіз застосовують для визначення чисельних значень характеристик температурних полів дорожніх покриттів і виявлених дефектів. Тепловий контроль може проводитися в комплексі з іншими видами контролю, передбаченими документацією. У якості основних засобів теплового контролю передбачаються тепловізори, прилади, зареєстровані в державному реєстрі засобів вимірювань або відповідності, що мають сертифікат, допущені до застосування в Україні і проходять метрологічну перевірку в організаціях, акредитованих відповідним органом по технічному регулюванню й метрології.

Оптимальною порою року для теплового контролю є весняно-літньо-осінній період. У добовому діапазоні оптимальним часом є період з 10 ранку до 20 вечора. Оптимальна відстань від тепловізора до кінцевої контрольованої точки на дорозі становить від 12 м - 15 м (при контролі на більш далекій відстані з'являються викривлення теплового зображення), висота тепловізора над рівнем дороги від 1,5 м – 2,0 м. Дані відомості по відстані й висоті залежать від оптичної системи тепловізора, що застосовується. Кут нахилу тепловізора повинен бути перпендикулярним до поверхні покриття або відхилитися на  $\pm 30$  градусів від вертикального напрямку.

Підготовка тепловізора до роботи полягає в підключенні його до автономного джерела живлення (акумулятору), наведення його на вибрану реперну (без зовнішніх дефектів) зону для ручного фокусування оптичної системи. Поява чіткого теплового й видимого зображення на моніторі тепловізора свідчить про його повну готовність до проведення тепловізійних зйомок обраної ділянки автомобільної дороги.

Перед початком тепловізійного обстеження необхідно, визначити швидкість вітру, вологість повітря та температуру поверхні дорожнього покриття контактним термометром. В якості контрольних значень коефіцієнта випромінювання при установці налаштувань користувача використовуються дані таблиць. Підготовлений до проведення вимірів тепловізор, що перебуває в руках оператора спрямовується на вибрану для контролю ділянку автомобільної дороги й візуально на екрані тепловізора оператором фіксується розподіл температур по поверхні покриття. При необхідності проводиться фіксація видимого на екрані тепловізора зображення (термограма) і відправлення його для тривалого зберігання на твердотільний носій цифрової інформації ( жорсткий диск) або безпосередньо в комп'ютер. Одночасно з тепловим зображенням проводиться фотозйомка

вбудованою цифровою фотокамерою вибраної ділянки автомобільної дороги. При виявленні температурних аномалій на поверхні покриття автомобільної дороги проводиться більш детальне термографування даної ділянки з метою визначення її розмірів, розподілу температури по контрольованій поверхні, визначення конкретних температур у вибраних оператором точках на поверхні дорожнього покриття. Отримані термограми й видиме зображення зберігаються в пам'яті тепловізора автоматично. При проведенні якісного аналізу знання коефіцієнта випромінювання бажане, але необов'язкове, особливо в тих випадках, коли температурні аномалії виявляються на однорідному випромінювальному фоні. При проведенні кількісного аналізу необхідно обов'язково знати коефіцієнт випромінювання. Його визначають шляхом порівняння температури контрольованої поверхні за показниками контактного термометра й тепловізора. Змінюючи вручну показання коефіцієнта випромінювання на екрані тепловізора, добиваються суміщення вказаних температур, отримане значення коефіцієнта випромінювання є дійсним для даного відрізка дорожнього покриття й може використовуватися для температурних розрахунків.

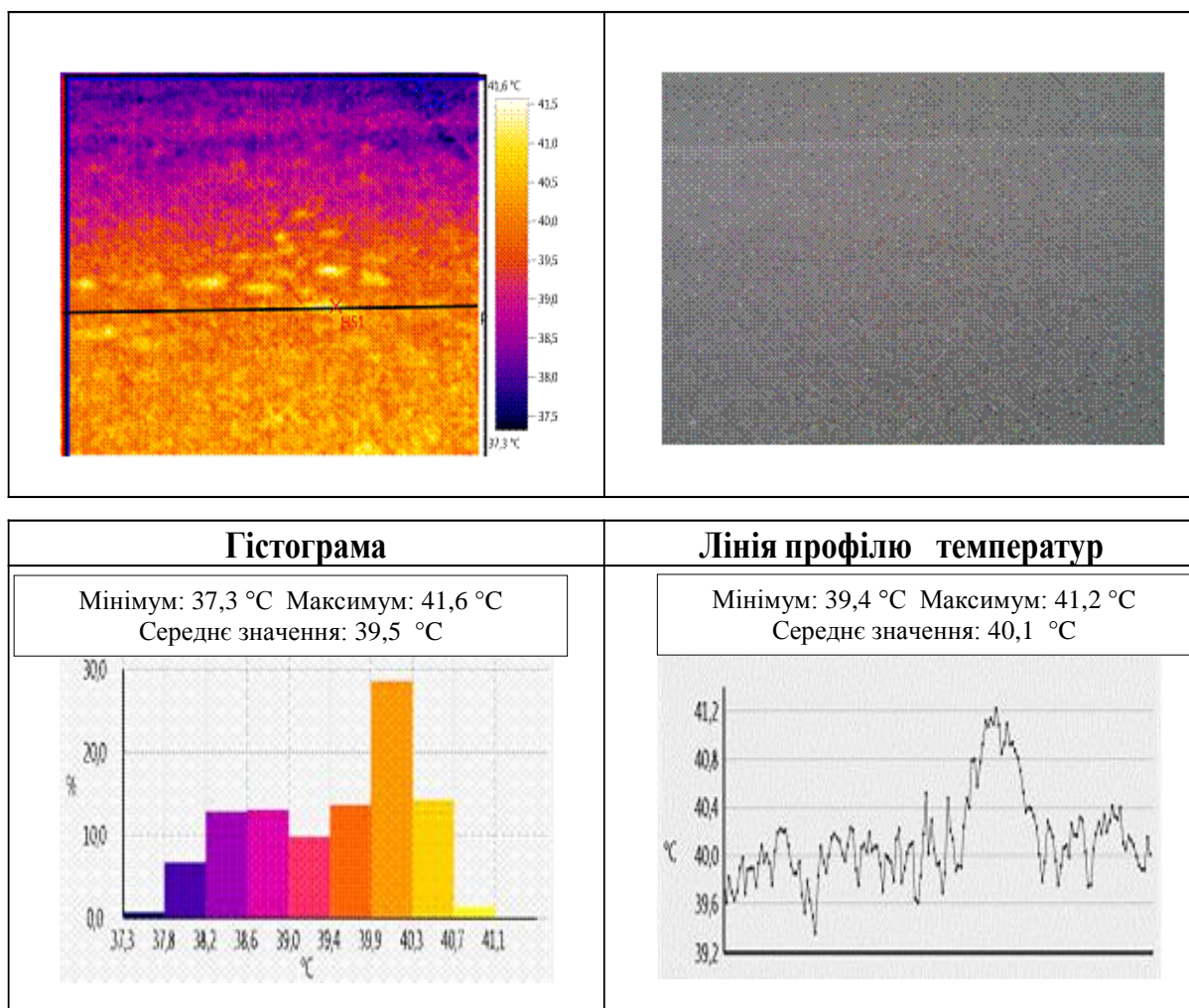


Рисунок 1 — Термограма, видиме зображення, гістограма та лінія профілю температур підповерхневих неоднорідностей тонкошарового асфальтобетонного покриття

Обробка результатів контролю при проведенні якісного аналізу полягає в обробці й розшифруванні термограм. Записані на носій цифрової інформації термограми аналізують, ідентифікують зони температурних аномалій і ухвалюють рішення щодо відповідності аномалії прихованому дефекту, зміні коефіцієнта випромінювання або конструктивним особливостям контрольованого об'єкта. Для наочності представлення результатів теплового контролю проводиться комп'ютерне суміщення видимого й теплового зображення тієї ж контрольованої ділянки дороги або дефектних зон на видимому зображенні після їхнього виявлення на термограмах.

Оцінку теплових аномалій слід проводити як за величиною температурного перепаду в зоні аномалії, так і методом визначення розподілу температури по поверхні термограм контрольованої ділянки покриття, так і методом порівняння з реперною зоною.

Теплові аномалії відображаються на термограмах у вигляді областей підвищеної або зниженої температури, які відповідають:

- конструктивним особливостям об'єкта контролю;
- прихованим дефектам та руйнуванням покриття дорожнього одягу (пустоти, розшарування, неоднорідності, близьке знаходження підґрунтових вод);
- неоднорідностям коефіцієнта випромінювання поверхні;
- зміні щільності та вологості матеріалу покриття;

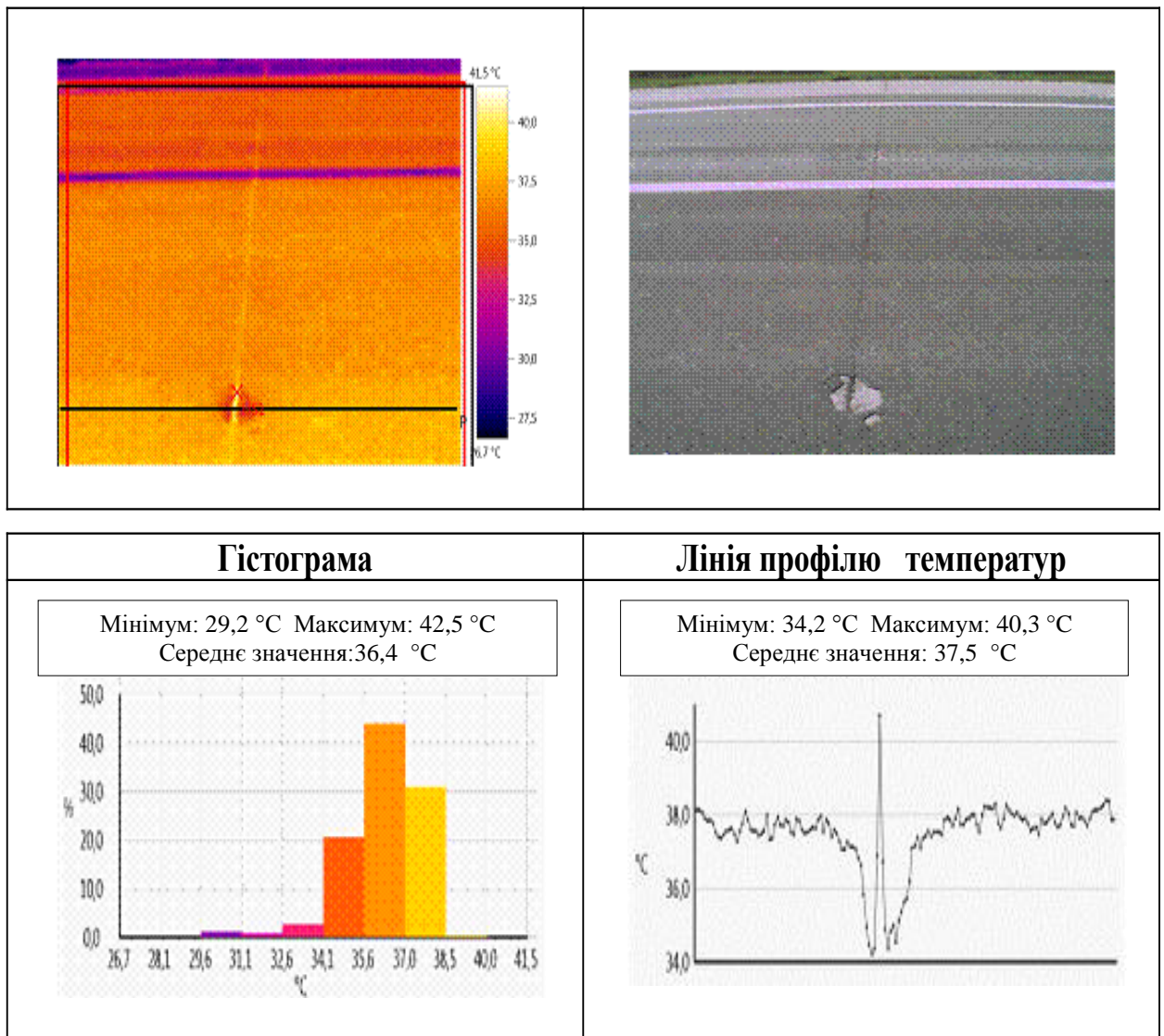


Рисунок 2 — Термограма, видиме зображення, гістограма та лінія профілю температур відшарування тонкошарового асфальтобетону від цементобетону

Кількісний аналіз результатів контролю полягає у визначенні чисельних значень значень температури на термограмах з метою оцінки ступеню їх небезпеки для нормального функціонування автомобільної дороги. Розрахунки здійснюють за допомогою спеціального програмного забезпечення, розробленого в складі методичних документів і технологічних інструкцій з теплового контролю, що враховує особливості процесу теплопередачі в контрольованих об'єктах. Кількісний аналіз температурних аномалій здійснюють із метою оцінки ступеня їх небезпеки для нормального функціонування дорожніх одягів. Ступінь небезпеки виявлених аномалій оцінюють по глибині

заягання виявлених дефектів, можливим наслідкам експлуатації дорожнього покриття з дефектами (зниження міцнісних характеристик шарів дорожнього покриття).

За результатами контролю складають протокол і висновок про стан об'єкта, що контролюється за результатами теплового обстеження.

Приклади підповерхневої неоднорідності та відшарування тонкошарового покриття поверх цементобетонної плити на автомобільній дорозі Київ – Ковель (км. 94+000 – 98+000) наведено на рис. 1 - 2.

Як видно на фото в звичайному спектрі не видно жодних дефектів, однак в інфрачервоному спектрі спостерігаються окремі плями світлого кольору з підвищеною на 2...5 °С температурою, в наслідок затікання бітумної емульсії в западини бетонного покриття. В цих місцях в подальшому відбувається видавлювання матеріалу під впливом руху коліс транспортних засобів.

Відшарування тонкошарового асфальтобетону від цементобетону в зоні тріщини видно на рис. 2.

Звертає на себе увагу значний скачок температури в зоні тріщини (перегрів мастики залитої в швах) та менша температура цементобетону порівняно з асфальтобетоном в зоні відшарування та на узбіччях. Також в зоні розмітки температура на 5...8°С менша ніж на темній поверхні асфальтобетону.

Подальший розвиток. Використання тепловізійного обладнання дасть можливість ефективно виконувати теплову діагностику автомобільних доріг та аеродромів, контроль якості виконання робіт при влаштуванні асфальтобетонних покриттів, енергоаудит підприємств дорожньо – транспортного комплексу. Це сприятиме підвищенню якості будівництва автомобільних доріг та аеродромів, енергозбереженню в дорожній галузі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитрієв М. М. Неруйнівний контроль стану аеродромних покриттів тепловими методами // ВІСНИК Нац. трансп. університету України N 6, 2002. - С. 171 – 181
2. Дмитриев Н. Н. Основы контроля и диагностики аэродромных покрытий. К.: УТУ, 1998. - 240 с.
3. Стороженко В.А., Вавилов В.П., Волчек А.Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. – Киев, Техніка, 1988.- 125 с.
4. Дмитрієв М.М., Папченко О.М., Деркачов О. Б. Досвід термографічного контролю стану дорожніх і аеродромних покриттів і шляхи розвитку // Проблеми транспорту. К.: Збірник наукових праць НТУ. Випуск 8, 2011. - С. 56.
5. Горбунов В. И., Епифанцев В. И, Гефле Г. Х., Немирович-Данченко И. И. Обнаружение воздушных полостей под бетонным покрытием тепловым методом // Дефектоскопия № 11, 1980. - С. 109 - 111.
6. Дмитрієв М.М., Деркачов О.Б., Папченко О.М. Застосування тепловізорів для неруйнуючого контролю аеродромних покриттів ВІСНИК НТУ № 9, 2004. С. 67-70.
7. Рекомендації по удосконаленню методу оцінювання стану покриття при використанні тепловізійного обладнання Р.В.3.1-02070915-811: 2012. – К.: Укравтодор, 2012. – 49 с.

#### РЕФЕРАТ

Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Попелиш І.І. Діагностування дефектів та руйнувань дорожніх одягів за результатами тепловізійних обстежень. / Микола, Миколайович Дмитрієв, Ігор Павлович Гамеляк, Іван Іванович Попелиш // Управління проектами, системний аналіз і логістика. — К.: НТУ — 2012. — Вип. 10.

В статті розглянуті питання застосування тепловізійного обладнання для оперативного діагностування технічного стану аеродромних та дорожніх покриттів.

На підставі отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень по застосуванню тепловізійного обладнання для оцінки стану асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, отримані результати які дозволили розробити методику теплового обстеження покриттів автомобільних доріг, визначити перелік необхідного тепловізійного і допоміжного обладнання та їх технічні характеристики, розробити документацію, яка визначає організаційні основи для проведення даного обстеження. Проведені дослідження показують, що регулярний контроль дорожнього покриття з відомими дефектними ділянками, дозволить на ранніх стадіях руйнування вжити відповідних заходів ремонтного впливу й з мінімальними витратами відновити дорожнє полотно до рівня вимог технічної документації. На основі проведених досліджень

розроблені Рекомендації по тепловізійному обстеженню автомобільних доріг для оперативного визначення їх технічного стану і необхідність їх розробок.

Результати статті можуть бути використані для подальших досліджень технічного стану автомобільних доріг та аеродромів, контролю якості виконання робіт при влаштуванні асфальтобетонних покриттів, енергоаудиті підприємств дорожньо – транспортного комплексу, що сприятиме підвищенню якості будівництва автомобільних доріг та аеродромів, енергозбереженню в дорожній галузі.

Об'єкт дослідження – тепловізійний контроль дефектів та руйнувань асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТЕМПЕРАТУРА, ТЕПЛОВІЗОР, НЕЖОРСТКИЙ ДОРОЖНІЙ ОДЯГ, АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ, ТЕПЛОВА ДІАГНОСТИКА.

#### ABSTRACT

Dmytriev M.M., Gameliak I.P, Popelish I.I Diagnostics of defects and damage to pavements as a result of infrared equipment. / Mykola Dmytriev, Igor Gameliak, Ivan Popelish // Management of projects, systems analysis and logistics. – К.: NTU – 2012. – Vol 10.

In the article questions the use of thermal equipment for prompt diagnosis and maintenance of airfield pavements.

Based on the results of theoretical and experimental studies on the use of thermal equipment for assessing asphalt pavement of roads, the results have allowed us to develop methods of thermal survey pavement roads, determine the list of required thermal and auxiliary equipment and their specifications, design documentation, which defines organizational basis for this survey. Studies show that regular monitoring of pavement with known defective parts, will allow for the early stages of fracture repair to take appropriate measures and impact with the minimum cost to recover to a level roadbed with technical documentation. Based on the research recommendations on thermal imaging survey of roads for rapid determination of their technical condition and the need for their development.

The results of the article can be used for further research of technical condition of roads and airfields, quality control of works when constructing asphalt pavements, energy audit firms road - transport system that will increase the quality of construction of roads and airfields, energy saving in the road sector.

Object of study - infrared control defects and damage asphalt pavement structures flexible pavement.

**KEY WORDS:** TEMPERATURE, THERMAL IMAGER, NON RIGID PAVEMENTS, ASPHALT PAVEMENT, HEAT DIAGNOSTICS.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриев Н.Н., Гамеляк И.П., Попельш И.И. Диагностирование дефектов и разрушений дорожных одежд по результатам тепловизионных обследований. / Николай Николаевич Дмитриев, Игорь Павлович Гамеляк, Иван Иванович Попельш // Управление проектами, системный анализ и логистика. - К.: НТУ — 2012. - Вип. 10.

В статье рассмотрены вопросы применения тепловизионного оборудование для оперативного диагностирования технического состояния аэродромных и дорожных покрытий.

На основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований по применению тепловизионного оборудования для оценки состояния асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог, получены результаты которые позволили разработать методику теплового обследования покрытий автомобильных дорог, определить перечень необходимого тепловизионного и вспомогательного оборудования и их технические характеристики, разработать документацию, которая определяет организационные основы для проведения данного обследования. Проведенные исследования показывают, что регулярный контроль дорожного покрытия с известными дефектными участками, позволит на ранних стадиях разрушения принять соответствующие ремонтные мероприятия и с минимальными затратами восстановить дорожное покрытие к уровню требований технической документации. На основании проведенных исследований разработаны Рекомендации по тепловизионному обследованию автомобильных дорог для оперативного определения их технического состояния.

Результаты статьи могут быть использованы для дальнейших исследований технического состояния автомобильных дорог и аэродромов, контроля качества выполнения работ при устройстве асфальтобетонных покрытий, энергоаудиті предприятий дорожньо – транспортного комплекса, который будет содействовать повышению качества строительства автомобильных дорог и аэродромов, энергосбережению в дорожной области.

Объект исследования – тепловизионный контроль дефектов и разрушений асфальтобетонного покрытия конструкций нежесткой дорожной одежды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕМПЕРАТУРА, ТЕПЛОВИЗОР, НЕЖЕСТКАЯ ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, ТЕПЛОВАЯ ДИАГНОСТИКА.

УДК 656.13:658

## ОСНОВНИ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ М. КРЕМЕНЧУК

Дмитрієв М.М., доктор технічних наук

Мороз М.М., кандидат технічних наук

Вступ. Сучасна вітчизняна і світова практика свідчать про зростання ролі послуг у конкурентноздатності підприємств на ринках збуту. Споживач фактично здобуває не тільки товар як фізичний об'єкт, але і послуги, які супроводжують його продаж. У цих умовах для більшості споживачів стала важливою не сама пропозиція, а, скоріше, суб'єктивний спосіб її сприйняття. Тому в останні роки прерогативою логістики поряд із управлінням матеріальними потоками є й управління сервісними потоками.

Аналіз попередніх досліджень. Жорстка конкуренція на ринку змушує переглядати існуючі принципи функціонування підприємств транспортної галузі. Для збереження своїх ринкових позицій підприємствам необхідно докласти зусиль у напрямку знаходження додаткових можливостей зниження рівня витрат, підвищення якості обслуговування споживачів. Накопичені проблеми потребують системного та комплексного підходу до їх вирішення. Як показує світовий досвід одним із дієвих інструментів управління господарською діяльністю та забезпечення адаптивності суб'єктів ринку є логістика [1, 2].

Незважаючи на наукові досягнення, логістичне управління на автотранспортних підприємствах знаходиться в початковому стані свого розвитку. Саме тому завдання вдосконалення системи управління потребує доопрацювання наукових і практичних аспектів діяльності підприємств транспортної галузі, створення відповідних методичних та організаційних інструментів управління, адекватних потребам часу [3, 4].

Мета роботи. Обґрунтувати методичні та практичні рекомендації щодо вдосконалення міських пасажирських перевезень м. Кременчук.

Матеріали і результати дослідження. Забезпечення якості та ефективності пасажирських перевезень може бути досягнуто за рахунок системної реалізації заходів передбачених відповідним механізмом (рис. 1).

Комплексне вирішення заходів вдосконалення пасажирських перевезень, передбачених організаційно-економічним механізмом, забезпечує високу якість і ефективність транспортного обслуговування населення і позитивно впливає на діяльність інших сфер економіки, які користуються послугами пасажирського транспорту.

Важливим аспектом вдосконалення якості і ефективності пасажирських перевезень є широке впровадження засобів логістичного управління перевезеннями пасажирів.

Оптимальна взаємодія різних видів транспорту забезпечує високу ефективність пасажирських перевезень. В реальних умовах можуть бути реалізовані і інші альтернативні варіанти взаємодії різних видів транспорту в залежності від обставин, які склалися.

Побудова транспортної мережі повинна ґрунтуватись відповідними критеріями якості і ефективності перевезень. Критерії якості перевезень пасажирів включають: час очікування транспортних засобів у первинному пункті посадки; кількість пересадок у процесі руху від первинного до кінцевого пункту: комфортабельність поїздки; час поїздки; вартість поїздки.

Аналіз моделей транспортної технології перевезення пасажирів свідчить про те, що для забезпечення ефективності роботи рухомого складу необхідно вирішувати такі основні задачі;

- розробка математичної моделі логічного управління перевезеннями пасажирів  $Z_{01}$ ;
- розробка критеріїв системної ефективності функціонування логістичної системи управління процесами перевезення пасажирів -  $Z_{02}$ ;
- розробка стратегій логічного управління перевезеннями пасажирів –  $Z_{03}$ ;
- моніторинг та моделювання процесів перевезення пасажирів з метою ідентифікації основних характеристик їх функціонування, розвитку і адаптації –  $Z_{04}$ ;
- оптимізація маршрутів перевезень пасажирів в умовах взаємодії різних видів транспорту –  $Z_{05}$ ;