ДП «ДержавтотрансНДІпроект»
ДП «ДерждорНДІ»
НТУ

Науково-виробничий журнал
Періодичність 4 рази на рік
№4 (256)'2018
(жовтень–грудень)

Заснований у вересні 1960 року
Зареєстрований
14 грудня 2016 року

Свідоцтво Міністерства юстиції
України про державну реєстрацію
засобу масової інформації
№22472-12372 ПР серія КВ

Наукове фахове видання
згідно з наказом Міністерства
освіти і науки України
від 10.05.2017 №693

Головний редактор:
Дмитриченко М. Ф.

Заступники головного
редактора:
Редзюк А. М.
Безуглий А. О.
Новікова А. М.

Випусковий редактор:
Копаниця І. В.

Редакційна колегія:
Агеєв В. Б.
Безуглий А. О.
Богомолов В. О.
Бондар Н. М.
Бондаренко Є. В
Вирожемський В. К.
Гурнак В. М.
Гутаревич Ю. Ф.
Дмитрієв М. М.
Золотарьов В. О.
Колесник Ю. Р.
Криворучко О. М.
Мержиєвський В. В.
Нагайчук В. М.
Поліщук В. П.
Сахно В. П.
Туренко А. М.
Устименко В. С.
Шинкаренко В. Г.

ISSN: 0365-8392

Передплатний індекс – 74 000

©ДП «ДержавтотрансНДІпроект»
© ДП «ДерждорНДІ»
© НТУ
2018 р.

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Редзюк А. М., Клименко О. А.
Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом 2

Ковальов С. О.
Розроблення електронної системи управління газовими ДВЗ із примусовим запалюванням, переобладнаними на базі дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі 12

Мержиєвський В. В., Пономарьова Ю. О.
Галузевий словник: «спалини» 19

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Нагайчук В. М., Ілляш С. І., Терещенко Т. А.
Особливості гарячого ресайклінгу на дорозі зі зміною гранулометричного складу асфальтобетонної суміші 20

Нагайчук В. М., Ілляш С. І., Терещенко Т. А.
Досвід впровадження технологій гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі в Україні (*друк. англ. мовою*) 28

Каредін В. С., Павленко Н. В.
Кредо на службі у дорожників 37

У Києві пройшов форум «АВТОДОРЕКСПО 2018» 47

Мови видання: українська, російська та англійська.
Макетування: Школьна К. В.
Усі статті проходять одностороннє сліпе рецензування
або відкрите рецензування та схвалюються до друку
рішенням редколегії.
За достовірність фактів, цифр, точність імен і прізвищ відповідають автори статей,
за зміст рекламних матеріалів – рекламодавці.
Редакція не завжди поділяє погляди авторів публікацій.
Усі права захищені. Передрук матеріалів можливий лише з дозволу редакції.
Видавець:
ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут».
Адреса: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, тел. 456-30-30.
Адреса редакції: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, к. 902
e-mail: ikopanytsya@insat.org.ua
Підписано до друку 14.12.2018.
Формат 60x84/8. Друк офсетний. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 5,58. Зам. 1383.

Видавець і виготівник Комунальне книжково-газетне видавництво «Полісся».
10008 Житомир, вул. Шевченка, 18а.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру: серія ЖТ № 5 від 26.02.2004 року

УДК 629.1

© А. М. Редзюк, канд. техн. наук, доцент,
© О. А. Клименко, канд. техн. наук, доцент (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

ЩОДО СТРАТЕГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ДОРОЖНІМ ТРАНСПОРТОМ

© A. M. Redziuk, Candidate of Technical Sciences (PhD), Assistant Professor, Director,
© O. A. Klymenko, Candidate of Technical Sciences (PhD), Deputy Head of Research Laboratory of Fuels and Environment, Deputy Head on Scientific and Technological Development of Road Vehicle Testing Centre (SE «State Road Transport Research Institute»)

REGARDING STRATEGY TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF ROAD TRANSPORT

Анотація. *Надані обґрунтування необхідності розроблення та пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом, що ґрунтуються, зокрема, на ретроспективному аналізі та прогнозах споживання енергії і викидів CO_2 дорожнім транспортом України на період до 2050 р. за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та варіантами державного регулювання в цій сфері.*

Ключові слова: *дорожній транспорт, енергетична ефективність.*

Аннотация. *Даны обоснования необходимости разработки и предложения по формированию государственной стратегии повышения эффективности использования энергии дорожным транспортом, основанные, в частности, на ретроспективном анализе и прогнозах потребления энергии и выбросов CO_2 дорожным транспортом Украины на период до 2050 г. соответственно различным сценариям социально-экономического развития и вариантам государственного регулирования в этой сфере.*

Ключевые слова: *дорожный транспорт, энергетическая эффективность.*

Annotation. *The substantiation for the necessity for development and proposals for the formation of a state strategy for improving an energy efficiency of road transport are presented. They are based in particular on the results of retrospective analysis and projections of energy consumption and CO_2 emissions by road transport in Ukraine for the period up to 2050 under different scenarios of socio-economic development and variants of state regulation in this area.*

The international obligations of Ukraine in this area are considered within the United Nations Framework Convention on Climate Change, and in accordance with the provisions of the Association Agreement between Ukraine and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states.

It is proved that these international obligations of Ukraine will not be fulfilled without the prompt introduction of a set of effective measures to reduce specific energy consumption in road transport sector of the economy. And hence there is a need for corresponding state strategy, which should determine in which way, at the expense of which resources, and at what price will Ukraine guarantee fulfillment of specified engagements at a stated time.

The results of the reconstruction of energy consumption, CO_2 and "local" toxic pollutants emissions in Ukraine by road transport during 1990-2015 are presented.

Estimates of reserves (potential) for reduction of energy consumption by road transport in Ukraine are given.

The analysis (structure) of possible measures to reduce energy consumption by road transport is given.

Economic restrictions on investing in the development of road transport infrastructure and introduction of the latest technologies are considered.

The proposals regarding solving the problem of accelerated renewal of Ukrainian road transport fleet on more energy efficient and environmentally friendly vehicles are outlined.

***Keywords**: road transport, energy efficiency.*

Вступ

Дорожній транспорт є важливою інфраструктурною складовою економіки та найбільшим споживачем моторних палив, які переважно імпортують в Україну, що є важливим аспектом національної енергетичної безпеки. Вартість моторних палив (енергії), що буде зростати в доступній для огляду перспективі, є значною складовою собівартості перевезень, та, відповідно, вартості майже будь-якого кінцевого продукту та послуг на ринку.

Україна, як учасник Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, у грудні 2015 р. взяла на себе зобов'язання в рамках Паризької угоди[1] не перевищити у 2030 році 60 % рівня викидів парникових газів станом на базовий 1990 рік.

Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, що направлена у 2018 р. до Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, задекларовано таке (цитата): «Усвідомлюючи свою відповідальність за досягнення цілей Паризької угоди та керуючись національними пріоритетами, Україна докладатиме зусиль для досягнення індикативного показника, що до 2050 р. складе порівняно з 1990 р. 31–34 % викидів ПГ…».

Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року[2], має на меті, зокрема:«зменшення обсягу викидів парникових газів в атмосферне повітря від пересувних джерел до 60 % рівня 1990 року».

На транспорт припадає близько 18 % викидів парникових газів (далі – ПГ) від спалювання палива, за які звітує Україна, з них близько 3/4 припадає на дорожній транспорт (**рис. 1**).

У 2007–2008 роках викиди ПГ дорожнім транспортом в Україні, з урахуванням експертних оцінок «тіньового ринку» моторних палив, вже значно перевищували «відмітку» у 60 % рівня 1990 р. Існують передумови для швидкого перевищення цих обсягів у доступній для огляду перспективі, враховуючи потенційну ємність ринку приватних легкових автомобілів, та зростання відносної частки транспорту у викидах ПГ, порівняно з іншими секторами економіки, з огляду на процеси деіндустріалізації.

Згідно з положеннями Угоди про асоціацію, укладеної між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони, положення законодавства ЄС щодо енергетичної ефективності автомобільного транспорту мають бути відображені в законодавстві України не пізніше 01.09.2022, та впроваджені не пізніше 01.09.2025.

Міжнародна спільнота, зокрема країни ЄС, приділяють велику увагу підвищенню ефективності використання енергії транспортом та зменшенню викидів ПГ.

Планові показники скорочення викидів ПГ на тривалу перспективу для ЄС визначені Європейською комісією у Дорожній карті переходу до конкурентоспроможної низьковуглецевої економіки до 2050 року, Енергетичній дорожній карті 2050 року, «Білій книзі з транспорту», що передбачають скорочення викидів ПГ країнами ЄС у транспортному секторі на 60 % до 2050 року (порівняно з рівнем 1990 року).

Глобальна ініціатива з економії палива (GFEI) спрямована на заохочення економії палива з амбітною метою подвоєння економічності нових легкових автомобілів до 2030 року та всього світового парку легкових автомобілів до 2050 року.

Все це, як показано далі, потребує впровадження комплексу дієвих заходів зі скорочення питомого споживання енергії в транспортному секторі економіки, а отже, і відповідної державної стратегії, яка має визначити, яким саме чином, за рахунок яких ресурсів, та якою ціною буде забезпечено виконання Україною зазначених міжнародних зобов'язань у встановлені терміни.

1 Верховна Рада України ратифікувала зазначену угоду 14.07.2016 (Закон України № 1469-VIII).

2 Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р.

Основна частина

Споживання енергії та викиди CO_2 парком дорожніх транспортних засобів в Україні

На **рис. 1** наведено розподіл сумарних викидів $CO_{2\,(екв.)}$ на території України від різних видів транспорту[3]. Близько 3/4 загальних викидів парникових газів $CO_{2\,(екв.)}$ на території України серед всіх видів транспорту продукує саме автомобільний транспорт, який експлуатують на дорогах загального користування.

Реконструйовані в [2] обсяги споживання моторних палив дорожнім транспортом в Україні в енергетичному еквіваленті у ПДж[4], а також їх розподіл наведено на **рис. 2** і **рис. 3** відповідно. Зазначені дані загалом є більш наближеними до фактичних обсягів споживання моторних палив, порівняно з офіційними даними Держстату, які є неповними.

За даними, отриманими в [3], в період з 1990 по 2014 рік значно збільшився внесок легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту у викиди CO_2 й споживання палив транспортом, відповідно з 15,3 % до 48,1 % і з 2,5 % до 8,5 %. Отже, запровадження в Україні регулювання енергетичної ефективності цієї категорії транспортних засобів є першочерговим завданням.

Фактор забруднення довкілля парком дорожніх транспортних засобів в Україні

Більшість заходів зі зменшення споживання енергії транспортом також сприяють зменшенню локального забруднення довкілля. Водночас, вимоги щодо підвищення конструктивної ефективності можуть суперечити екологічним вимогам (як показано далі), вимогами щодо активної та пасивної безпечності конструкції, комфорту пасажирів тощо.

Впровадження технічного регулювання конструктивної енергоефективності транспорту має враховувати наведені вище аспекти.

У роботі [3] наведено попередні результати науково-дослідної роботи, яку виконує ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з використанням сучасної європейської методології з метою визначення тенденцій і розроблення прогнозів викидів в атмосферне повітря більш ніж 100 видів шкідливих речовин дорожнім транспортом України, за різними сценаріями соціально-економічного розвитку країни, як підґрунтя для подальшої розробки відповідних стратегій і заходів щодо зменшення техногенного навантаження від транспорту на довкілля.

3 Розподіл у 2010 р. обраний, оскільки наявний за цей рік набір вихідних даних стосовно споживання енергії транспортом загалом є найбільш якісним за період 1990–2018 роки.

4 Пета – префікс у системі СІ, що дає кратність 10^{15}. Тобто, ПДж = 10^{15}Дж.

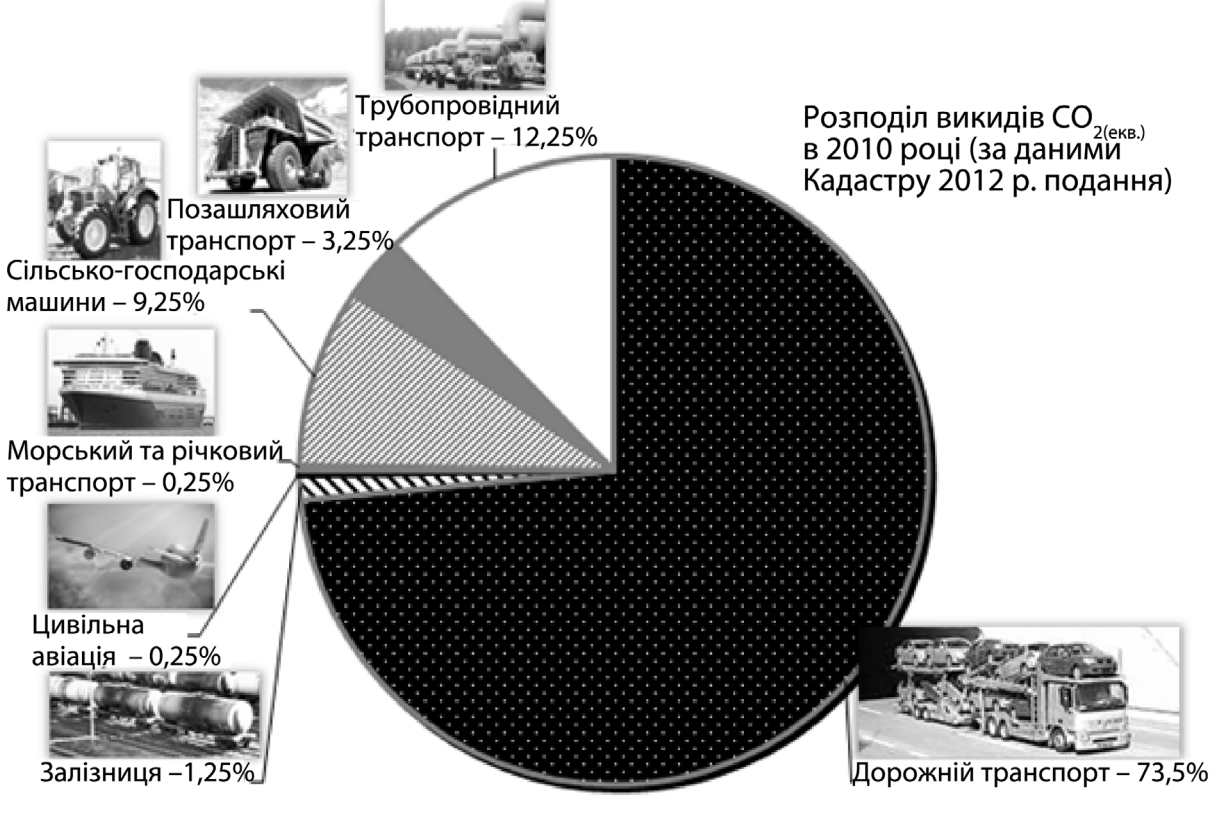

Рис. 1. Розподіл загальних викидів CO2 (екв.) на території України від різних видів транспорту [2]

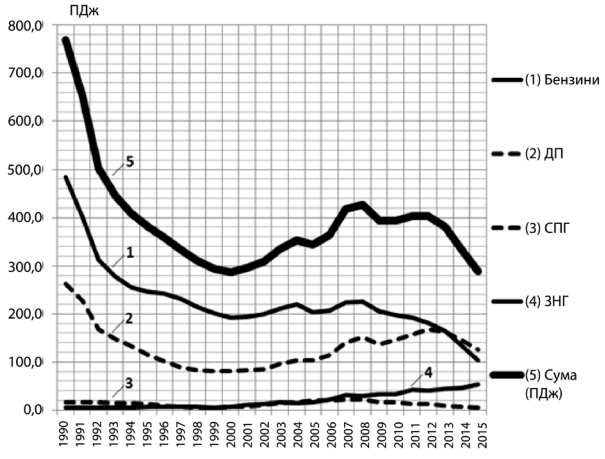

Рис. 2. Споживання моторних палив дорожнім транспортом в Україні в енергетичному еквіваленті (ПДж)

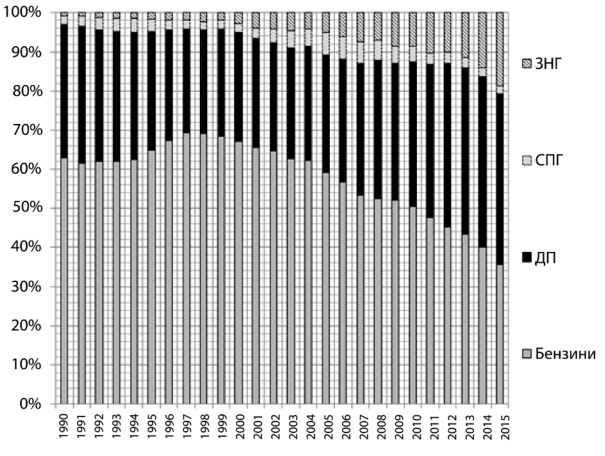

Рис. 3. Структура споживання моторних палив дорожнім транспортом в Україні в енергетичному еквіваленті (% енергії за видом моторного палива)

Показовим є порівняння на основі даних роботи [3] трендів викидів вуглекислого газу (**CO_2**), з трендами викидів так званих «локальних» токсичних забруднювачів (зокрема, **NO_x**, **$PM_{2.5}$**, **CO**, **NMVOC**), емісія яких віддзеркалює впровадження екологічних стандартів «Євро» (**рис. 4**).

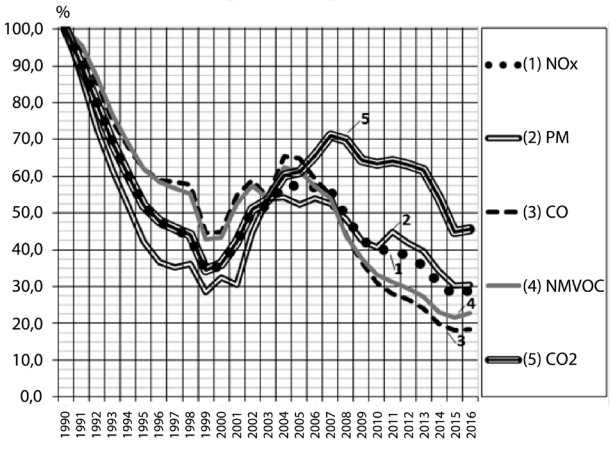

Рис. 4. Порівняння трендів викидів CO_2, NO_x, $PM_{2.5}$, CO, NMVOC

У [3] змодельовані загальні зведені викиди з урахуванням відносної агресивності різних забруднювачів у період 1990–2014 роки, а також вклад окремих забруднювачів до сукупного негативного тиску транспорту на довкілля (**рис. 5**).

Отже, оксиди азоту (**NO_x**) сьогодні є визначальним забруднювачем повітря міст. На другому місці зважені частинки (**$PM_{2.5}$**), що продукують переважно автомобілі з дизелями.

Покращення паливної економічності автомобілів завдяки підвищенню ефективності робочого процесу двигунів має як результат збільшення температури термодинамічного циклу і, відповідно, збільшення викидів саме оксидів азоту. «Дизелізація» парку, а також використання, наприклад, біоетанолу в складі сумішевих бензинів, мають наслідками, зазвичай, збільшення викидів оксидів азоту та інших забруднювачів. Зазначені фактори мають бути враховані під час формування державної політики у цій сфері на основі цілісного підходу.

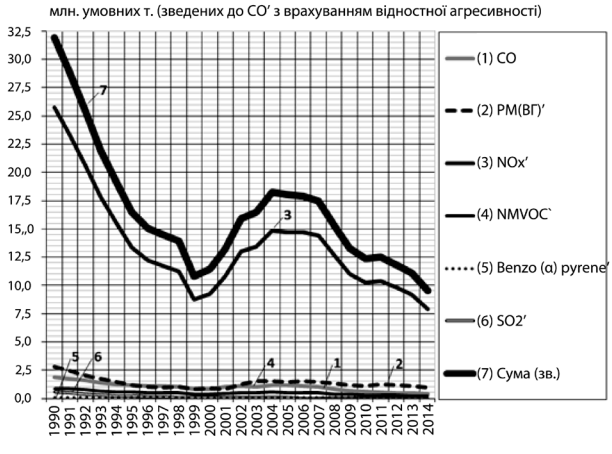

Рис. 5. Загальні зведені викиди (в умовних зведених тоннах відносно CO з врахуванням відносної агресивності) різних забруднювачів та їх зведений «внесок»

Соціальні та макроекономічні наслідки техногенного навантаження дорожнього транспорту на довкілля в Україні

З огляду на наведені вище протиріччя, соціальні та макроекономічні наслідки техногенного навантаження дорожнього транспорту на довкілля в Україні мають бути враховані під час впровадження державою економічних інструментів регулювання конструктивної енергоефективності транспорту.

Згідно з інформацією Світової організації охорони здоров'я, **Україна посідає перше місце у світі** за рівнем смертності на душу населення, спричиненої забрудненням атмосферного повітря [5]. Щорічні макроекономічні збитки від забруднення довкілля автотранспортом в Україні оцінюють орієнтовно

в еквіваленті 2…3 млрд євро за найпомірнішими оцінками, наведеними в [3] і [4].

Резерви зменшення питомого споживання енергії транспортом

В Україні існують значні й досі невикористані резерви зменшення питомого споживання енергії транспортом, досяжний потенціал якого лише завдяки організаційним заходам у сфері експлуатації (заходам, що не потребують значних інвестицій, та дають швидкий ефект) оцінюють у зменшенні імпорту нафтопродуктів у короткостроковій перспективі країною загалом до 15 % (для окремих суб'єктів господарювання до 30 %).

Поступове оновлення складу парку дорожніх транспортних засобів більш сучасними конструкціями з широким використанням вже сьогодні доступних на ринку технологічних рішень із підвищення ефективності використання енергії з відповідним введенням стандартів енергетичної ефективності, маркування енергетичної ефективності транспортних засобів та обладнання, що на них встановлюється, запровадженням відповідного державного технічного і фіскального регулювання аналогічно до держав-членів ЄС, США та інших держав світу, впровадження у галузі новітніх інформаційних і логістичних технологій, разом з відповідними організаційними заходами та оновленням дорожньої інфраструктури має великий сукупний потенціал зменшення витрат енергоносіїв країною, що оцінюють на рівні до 30 % у середньостроковій та до 50 % у віддаленій перспективі.

Заходи зі зменшення споживання енергоносіїв автомобільним транспортом

Звіт із дослідження [4], що було виконано у 2016 р. компанією Ricardo Energy & Environment (Великобританія) разом з ДП «Державтотранс-НДІпроект» за проектом Clima East за підтримки Європейської Комісії та на замовлення Мінінфраструктури України, містить, зокрема:

1) аналіз інструментів державної політики і практики країн ЄС та інших країн світу у сфері регулювання енергетичної ефективності та викидів CO_2 дорожнім транспортом;

2) ранжування варіантів державної політики у цій сфері за результатами багатокритеріального аналізу стосовно умов та можливостей України;

3) аналіз методів, процедур випробування транспортних засобів і проблемних питань у частині регулювання енергетичної ефективності та викидів CO_2 дорожнім транспортом;

4) детальні покрокові рекомендації Уряду щодо:

- вдосконалення державної політики в Україні в цій сфері;

- розбудови відповідної інституційної спроможності країни ефективно вирішувати це завдання.

У [4] можливі інструменти державної політики поділено на такі категорії:

• економічні інструменти;

• регуляторні інструменти;

• інструменти, що забезпечують удосконалення транспортної інфраструктури;

• освітні та інформаційно-роз'яснювальні інструменти;

• інструменти стимулювання інновацій і розвитку.

Багатокритеріальний аналіз для порівняння різних варіантів державної політики виконаний в [4] з погляду:

• користі від них (впливу на довкілля тощо);

• рівня витрат і зусиль, необхідних для їх реалізації;

• їх відповідності політиці, що вже проводиться в ЄС та Україні;

• прийнятності варіантів політики для суспільства;

• затримки часу до досягнення зниження обсягу викидів вуглекислого газу.

Однак заходи зі зменшення споживання енергоносіїв автомобільним транспортом загалом значною мірою взаємопов'язані між собою, що ускладнює їх структурування та розподіл за напрямами з метою ефективного управління.

Окрім ранжування комплексу заходів із визначенням пріоритетів, актуальним питанням є завдання їх оптимізації на основі системного підходу з погляду розподілу інвестицій у часі, враховуючи обмежені ресурси країни.

Із практичного погляду доцільно використовувати їх розподіл за такими напрямами:

1. Підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації.

2. Підвищення ефективності транспортної системи загалом з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури.

3. Оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів.

Підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації

Напрям підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, уявляється найбільш ефективним в сучасних умовах для України, враховуючи значний нереалізований потенціал, зумовлений, зокрема,

відносно низьким середнім рівнем обізнаності водіїв (власників) і культури експлуатації транспортних засобів. Реалізація цього напряму не потребує значних інвестицій. Він є найкращим із погляду ефекту, якого можна досягнути у відносно короткі терміни, і потенційно широкої сфери охоплення, а також за співвідношенням отриманих вигод до витрат на їх реалізацію. Напрям охоплює, зокрема:

• організацію та планування поїздок;

• техніку управління транспортними засобами;

• питання використання обладнання на борту транспортних засобів;

• управління конструктивними факторами та укомплектованістю автомобіля у сфері експлуатації;

• управління технічним станом;

• паливо та інші експлуатаційні матеріали;

• нормування питомих витрат енергії тощо.

Підвищення ефективності транспортної системи загалом з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури

Важливою складовою розвитку напряму підвищення ефективності транспортної системи загалом з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури є розвиток інформаційних систем у транспортній галузі та взаємодії між різними видами транспорту, суб'єктами господарювання (операторами ринку) та споживачами. Створення Національної транспортної моделі України, Центру обробки даних Національної транспортної моделі та розвиток інтелектуальних транспортних систем має великий потенціал ефективного вирішення оптимізаційних завдань у сфері транспорту та його інфраструктури.

Серед важливих складових цього напряму зокрема необхідно зазначити:

• логістичне вдосконалення перевезень із забезпеченням використання для кожного перевезення найбільш ефективних видів транспорту та транспортних засобів або їх комбінації, зменшення непродуктивних пробігів тощо;

• забезпечення модального зсуву в реалізації потреб населення у мобільності за рахунок, зокрема, випереджаючого розвитку громадського транспорту з наданням йому комплексу переваг, включаючи, крім вартості послуги, комфорт і переваги у швидкості пересування містом у порівнянні з використанням приватного транспорту;

• поліпшення організації транспортного руху;

• покращення транспортної інфраструктури.

Цей напрям в частині покращення транспортної інфраструктури звичайно треба розглядати у контексті реалізації нових, більш прогресивних підходів у проектуванні міст і плануванні їх таким чином, щоб зменшити загальні потреби у транспортуванні та загальну відстань потрібного транспортування.

Зазначений напрям загалом має величезний потенціал зменшення споживання енергії у транспортному секторі, зменшення заторів і непродуктивних втрат часу населенням, підвищення середньої швидкості руху в містах і якості життя тощо.

Однак випереджальний розвиток громадського транспорту з наданням йому комплексу переваг та загалом покращення транспортної інфраструктури потребують значних обсягів інвестицій.

Оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів

Напрям оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів має значний потенціал. Однак оскільки заміна рухомого складу відбувається відносно повільно в умовах низької купівельної спроможності населення та малих інвестиційних можливостей операторів ринку перевезень, загальний (в масштабах країни) ефект за цим напрямом має дещо відтермінований характер. Водночас цей захід є надзвичайно важливим компонентом з погляду як окремих власників транспортних засобів, так і потенціалу зменшення споживання транспортом України енергоносіїв вже у середньостроковій перспективі.

Підвищення енергетичної ефективності транспортних засобів, що вперше вводять в експлуатацію, може буде забезпечено завдяки:

1. Заходам інформаційного характеру (впровадження маркування енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових (зокрема пневматичних шин), відповідному об'єктивному інформуванню покупця під час прийняття ним рішення щодо вибору транспортного засобу).

2. Впровадженню прямого технічного регулювання зі встановленням обов'язкових до виконання в країні стандартів енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових (питомих норм споживання палива або викидів парникових газів у регламентованих тестових процедурах).

3. Заходам економічного характеру, що матимуть, зокрема, стимулюючий ефект на прийняття рішення споживачем щодо вибору на користь більш енергетично ефективних конструкцій транспортних засобів. Останній варіант є або більш гнучкою альтернативною прямому технічному регулюванню або може поєднуватися з ним, що є оптимальним варіантом за міжнародним досвідом.

У будь-якому разі, передусім необхідно запровадити систему маркування енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових, що має ґрунтуватися на показниках (та методах їх визначення), які адекватно відображатимуть реальні експлуатаційні витрати енергії.

Попередні прогнози обсягів споживання енергії дорожнім транспортом за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та регулювання в цій сфері

Оптимальне поєднання у часі наведених вище заходів, що забезпечать виконання міжнародних зобов'язань України за умов розвитку економіки та з найбільшим співвідношенням вартості зекономленої енергії до сукупних витрат на реалізацію відповідних заходів з економії (беручи, до уваги дефіцит ресурсів та інші обмеження), має бути відображено у державній стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом.

Таким чином є актуальним завдання прогнозування загальних обсягів споживання енергії дорожнім транспортом на період до 2050 р., а також можливої економії ресурсів за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та варіантами регулювання в цій сфері. Однак це завдання є надзвичайно складним, особливо в нинішніх умовах стану економіки.

Нижче наведено окремі попередні результати спроби такого прогнозування. Очікується, що середня вартість енергії для транспорту в період до 2050 р. зросте в Україні принаймні вдвічі. Детальний опис вихідних даних та використаних припущень є предметом окремого розгляду. Попри значний рівень невизначеності, ці результати певною мірою вже надають бачення оптимізації (розподілу) ресурсів, необхідних для реалізації різних інструментів державної політики у цій сфері.

Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах повільного зростання економічної та транспортної активності (на 20 % у 2030 р. порівняно з 2018 р.) наведено на **рис. 6**. Передбачено, що зазначена інтенсивність зростання транспортної активності може бути повністю компенсована поступовим підвищенням рівня конструктивної енергетичної ефективності парку транспортних засобів за умови впровадження жорсткого технічного і фіскального регулювання у цій сфері в Україні за аналогією з країнами ЄС.

Реалізація всього доступного комплексу заходів з економії в наведених умовах теоретично може дати змогу зменшити споживання енергії дорожнім транспортом у 2050 р. орієнтовно до 65…70 % від рівня 2018 р.

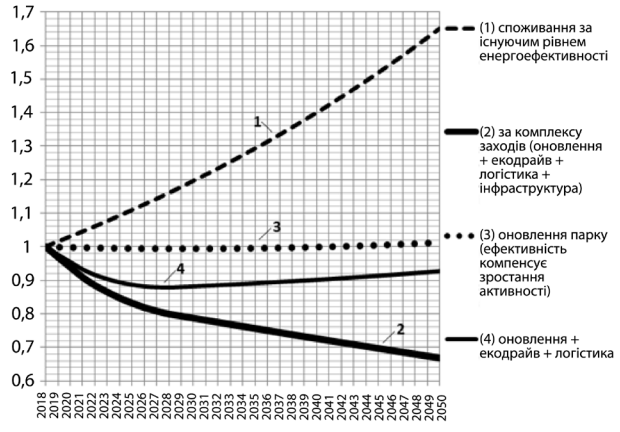

Рис. 6. Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах повільного зростання економічної та транспортної активності в Україні

Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах дещо прискореного (пропорційно загальному зростанню споживання енергії світовою економікою) зростання економічної та транспортної активності в Україні наведено на **рис. 7**.

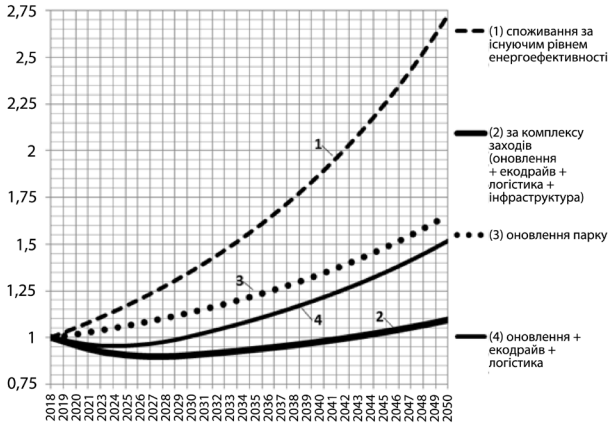

Рис. 7. Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах прискореного зростання економічної та транспортної активності в Україні

За цих умов стримування зросту споживання енергії транспортом та виконання наведених вище міжнародних зобов'язань і стратегічних планів Уряду України, є можливим винятково завдяки реалізації одночасно всього комплексу доступних заходів, що зокрема потребує значних інвестицій у розвиток дорожньої інфраструктури, будівництво багаторівневих транспортних розв'язок, винесення транзитного транспорту поза межі міст тощо.

Аналіз розподілу внеску різних напрямів в загальну економію витрат на придбання енергії показує, що інвестиції в оновлення парку та в розвиток дорожньої інфраструктури мають

переважний, але відтермінований ефект, оскільки помітний в масштабах всієї країни розвиток інфраструктури та повне оновлення парку потребують значного часу.

Наведені вище заходи з підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, розповсюджуються одразу на весь парк та мають «швидкий» ефект. Водночас відносний внесок цього напряму зменшуватиметься з часом, як внаслідок поступового зростання ефекту від модернізації парку та інфраструктури, так і внаслідок поступової мінімізації впливу «людського фактору» в міру розвитку систем автоматизації управління транспортними засобами та транспортними потоками загалом.

На **рис. 8** і **рис. 9** наведено оцінки можливої щорічної економії на енергоносіях та інтегральних сукупних витрат з початку 2018 р. (в еквіваленті млрд євро) і складових можливої економії в умовах повільного зростання транспортної активності в Україні.

Отримані результати дають змогу зробити такі важливі висновки:

1. Комплекс заходів із підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, які перебувають в експлуатації, що не потребують значних обсягів інвестицій (порівняно з оновленням парку та модернізацією дорожньої інфраструктури), є порівняним за щорічним та інтегральним сукупним економічним ефектом із заходами з оновлення парку відповідно до 2025 р. та до 2029 р. орієнтовно. Інвестиції в розвиток дорожньої інфраструктури зрівняються з ними за щорічним та інтегральним економічним ефектом відповідно орієнтовно лише в 2031 р. та у 2041 р. Наведені результати обґрунтовують доцільність кардинальної зміни ставлення суспільства і Держави до цього відносно «простого» інструменту, потенціалом якого сьогодні фактично нехтують.

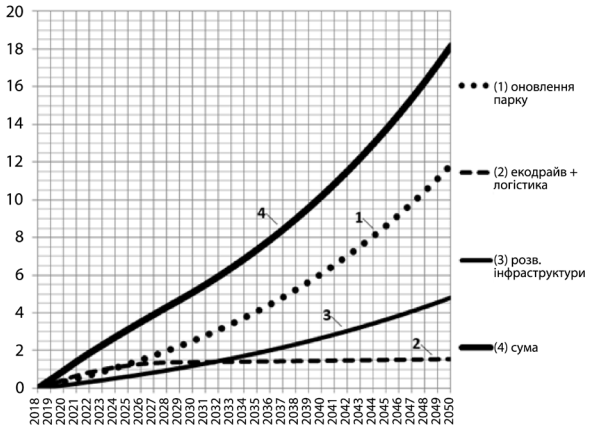

Рис. 8. Оцінки можливої економії на енергоносіях (в еквіваленті млрд євро на рік)

2. Орієнтовний щорічний та інтегральний потенціал можливої економії на імпорті енергоносіїв для дорожнього транспорту становитиме до 2030 року відповідно майже 5 млрд євро щороку та майже 40 млрд євро сукупно за сценарієм повільного економічного зростання (до 2050 р. – відповідно до 18 млрд євро щороку та до 300 млрд євро сукупно). В умовах прискореного зростання економіки зазначений потенціал економії ймовірно не буде значно перевищувати оцінки за попереднім сценарієм з огляду на відкладений ефект, але до 2050 р. теоретично може становити вже до 30 млрд євро щороку та до 420 млрд євро сукупно.

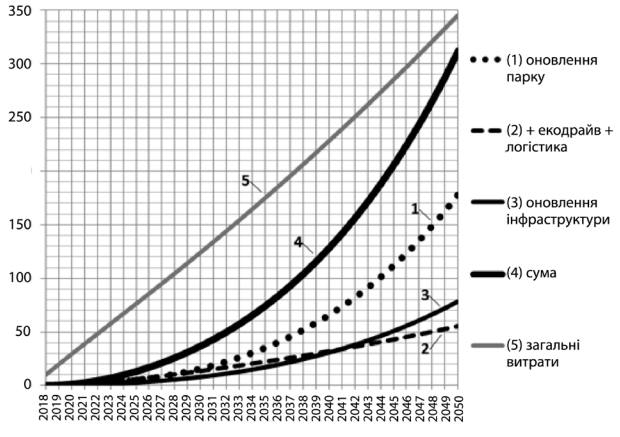

Рис. 9. Оцінки сукупних витрат на енергію та складових можливої економії на енергоносіях (в еквіваленті млрд євро з початку 2018 р.)

Економічні обмеження

Перспективи вивільнення наведених вище величезних фінансових ресурсів із закупівель енергоносіїв на перший погляд дають змогу та обґрунтовують доцільність майже «безоглядного» інвестування в новітні технології та в нову інфраструктуру.

Однак розвиток транспортної інфраструктури та масштабне впровадження новітніх технологій насправді мають значні економічні обмеження.

Як видно з **рис. 9**, сукупна економія фінансових ресурсів на придбання енергії завдяки розвитку більш ефективної дорожньої інфраструктури може бути орієнтовно оцінена в обсязі до 75 млрд євро за період з 2019 р. до 2050 р. Якщо розподілити ці зекономлені кошти з розрахунку загальної протяжності мережі автодоріг в 430 тис. км, отримаємо 170 тис. євро на 1 км доріг (на всі 32 роки), або всього 5,3 тис. євро на 1 км в рік. Відомо, що існуюча дорожня інфраструктура потребує істотного збільшення її загальної протяжності.

Подальше (від вже досягнутого автовиробниками рівня) підвищення паливної економічності транспортних засобів ускладнює їх конструкцію,

потребує масштабних інвестицій в новітні технології, **науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи**, та в переоснащення виробництва, що збільшує собівартість техніки. Залежність собівартості автомобіля від його енергетичної ефективності має нелінійний характер (кожний наступний грам економії палива дається ціною все більшого зростання вартості конструкції).

Розрахунки показують, що підвищення паливної економічності «усередненого автомобіля» в нинішніх умовах, наприклад, на 10 %, є економічно доцільним та може бути певною мірою прийнятним для споживача, якщо це досягатиметься збільшенням його вартості не більш ніж на 1,5…2,5 тис. євро. Наведені вище дані стосуються середнього значення для парку загалом. Для окремого транспортного засобу такі оцінки визначатимуться його категорією, щорічним пробігом, видом палива й іншими факторами, та можуть мати різні значення в доволі широких межах.

Окремі питання, що також потребують розгляду, але виходять за межі цієї публікації, це стимулювання розвитку ринку біопалив, електромобілів та «гібридів» в Україні.

Висвітлення проблемних питань запровадження в Україні технічного регулювання конструктивної ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами також потребує окремого детального розгляду.

Висновки

Формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом має враховувати, принаймні, наведені вище чинники, спостереження та висновки. Нижче, для обговорення, надано деякі пропозиції, що випливають з наведеного у статті, та, на думку авторів, також можуть бути покладені в основу стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом.

Завдання зменшення споживання енергії або диверсифікації джерел її походження чи видів енергоносіїв, та/або зменшення викидів CO_2, не повинні бути самоціллю і мають узгоджуватися з питаннями розвитку економіки країни, екологічними та іншими аспектами. Мета державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом має бути визначена як забезпечення сталого розвитку галузі транспорту та економіки країни.

Задля прискореного оновлення складу парку на більш енергетично ефективні та екологічно сприятливі конструкції мають бути запроваджені:

• узгоджені інструменти технічного та фіскального регулювання енергетичної ефективності й екологічного рівня транспортних засобів на етапі допуску (першої реєстрації), а також інструменти фіскального регулювання протягом експлуатації;

• національна система маркування енергетичної ефективності та екологічного рівня транспортних засобів;

• на основі маркування – диференційовані обмеження та преференції щодо доступу до інфраструктури, які також стимулюватимуть використання більш ефективних та екологічно сприятливих транспортних засобів (диференціація доступу та оплати за користування інфраструктурою (місця для паркування та в перспективі – платні дороги), доступу до центральних частин міст, доступу на відокремлені смуги руху громадського транспорту тощо)).

При цьому регулювання енергетичної ефективності дорожніх транспортних засобів на ринку України має здійснюватися винятково на рівні кожного окремого типу, а не в межах «квоти» загальної виробничої програми окремого автовиробника.

Маркування енергетичної ефективності транспортних засобів має супроводжуватися маркуванням поточного екологічного рівня з врахуванням віку і технічного стану (відповідно, повернення перевірки придатності до експлуатації «техогляду») та виду палива/технології (не рівнем екологічного класу «Євро» на момент виробництва).

Стимулювання альтернативних видів моторних палив і джерел енергії (біопалив, електромобілів тощо) має здійснюватися виключно на основі комплексного аналізу їх ефективності з врахуванням всіх складових, зокрема, WTW-аналізу[5], витрат на інфраструктуру, життєвого циклу транспортного засобу тощо.

Ефективна реалізація потенціалу напрямів підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, та підвищення ефективності транспортної системи загалом з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури, вочевидь, потребує розроблення та реалізації державних програм з відповідними масштабу проблеми обсягами бюджетного фінансування, як це здійснюють держави-члени ЄС та інші країни світу.

Мають бути враховані рекомендації, розроблені міжнародною групою експертів у роботі [4],

5 WTW-аналіз (з англійської Well-To-Wheel, тобто від свердловини до коліс) – специфічний аналіз життєвого циклу, який застосовують до енергоносіїв та їх використання транспортними засобами, що включає видобуток сировини, виробництво енергоносія, його доставку до транспортного засобу та кінцеве використання.

зокрема, щодо розбудови відповідної інституційної спроможності України ефективно вирішувати це завдання, та щодо відповідної міжвідомчої координації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дослідження та розроблення рекомендацій щодо зменшення питомого споживання енергоносіїв автомобільним транспортом: звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (проміжний). – 0115U006026. – 2016. – 154 с.

2. Верифікація обсягів споживання моторних палив транспортним сектором в контексті щорічної підготовки Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні: звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект», ТОВ «Інститут промислової екології» (заключ. спільний). – 2017.– 352 с.

3. Дослідження впливу на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря структури парку колісних транспортних засобів України: звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (проміжний). – 0112U001736. – 2016. – 106 с.

4. Development of national policy on regulation of road transport CO_2 emissions and energy consumption in Ukraine – Clima East project report / Ricardo Energy & Environment (United Kingdom), State Enterprise «State Road Transport Research Institute» (Ukraine). –2016. – 212 с.

5. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. – World Health Organisation, 2016. – ISBN 978 92 4 1511353.

REFERENCES

1. State Enterprise «State Road Transport Research Institute» (2016) Doslidzhennya ta rozroblennya rekomendacij shhodo zmenshennya py`tomogo spozhy`vannya energonosiyiv avtomobil`ny`m transportom [Research and development of recommendations for reduction of specific energy consumption by motortransport]. Interim Report. State registration number 0115U006026, Kyiv, 154 p.

2. State Enterprise «State Road Transport Research Institute» andthe «Institute of Engineering Ecology», Ltd (2017) Veryfikacija obsjaghiv spozhyvannja motornykh palyv transportnym sektorom v konteksti shhorichnoji pidghotovky Nacionaljnogho kadastru antropoghennykh vykydiv iz dzherel ta absorbciji poghlynachamy parnykovykh ghaziv v Ukrajini [Verification of volume so motor fuel consumption in the transport sector in the context of annual preparation of the National in ventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of green house gasesin Ukraine]. Final Joint Report. Kyiv, 2017, 342 p.

3. State Enterprise «State Road Transport Research Institute» (2016) Doslidzhennya vply`vu na vy`ky`dy` shkidly`vy`x rechovy`n v atmosferne povitrya struktury` parku kolisny`x transportny`x zasobiv Ukrayiny` [Investigation of the influenceon the emission of harmful substancesin to the atmospheric air of the park structure of wheel edvehicles of Ukraine]. Interim Report.State registration number 0112U001736, Kyiv, 2016, 106 p.

4. Ricardo Energy & Environment (United Kingdom), State Enterprise «State Road Transport Research Institute» (Ukraine) (2016) Development of national policy on regulation of road transport CO2 emissions and energy consumption in Ukraine. Clima East Project Report, 212 p.

5. World Health Organisation (2016) Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

ПЕРЕДПЛАТА НА 2019 РІК
(№ 1 (березень), № 2 (червень), № 3 (вересень), № 4 (грудень))

«Автошляховик України» – науково-виробничий журнал для фахівців автомобільного транспорту та дорожнього господарства, видається з 1960 року. На його сторінках друкуються матеріали про сучасні технології, наукові дослідження та розробки, висвітлюються питання організації та економіки виробництва, впровадження системи управління якістю транспортно-дорожнього комплексу, а також інформація про нові експлуатаційні й будівельні матеріали.

Передплатити журнал можна в усіх поштових відділеннях через Каталог періодичних видань України ДП «Преса»: передплатний індекс – 74000, а також через сайт: www.smartpress.com.ua

З питань замовлення журналів, надання публікацій, розміщення реклами звертайтеся у редакцію: ikopanytsya@insat.org.ua, (044) 201-08-69

УДК 662.767

© С. О. Ковальов, канд. техн. наук, старш. наук. співроб. (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВЗ ІЗ ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ПЕРЕОБЛАДНАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ

© S. O. Koval`ov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer (SE «State Road Transport Research Institute»)

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR GAS-ENGINES WITH SPARK IGNITION, CONVERTED ON THE BASIS OF DIESEL ENGINES TO WORK FOR ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Анотація. *Показані доцільність і переваги використання транспортними засобами газових моторних палив, зокрема зрідженого нафтового газу, порівняно з традиційними рідкими моторними паливами. Обґрунтовано доцільність конвертування дизелів у газові ДВЗ із примусовим запалюванням відносно до переобладнання у газодизелі.*

Розроблено електронну мікропроцесорну систему управління газовими ДВЗ із примусовим запалюванням, що складається з двох головних і низки додаткових підсистем. Описано принцип роботи головних підсистем, до яких належить підсистема управління живленням і впорскуванням ЗНГ, а також підсистема управління запалюванням. Розроблено та створено промисловий зразок ЕБУ. На базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ моделі Д-240-LPG з примусовим запалюванням.

Ключові слова: *газовий ДВЗ із примусовим запалюванням, зріджений нафтовий газ (ЗНГ), електронна мікропроцесорна система управління газовими ДВЗ, транспортні засоби, що працюють на ЗНГ.*

Аннотация. *Показаны целесообразность и преимущества использования транспортными средствами газовых моторных топлив, в частности сжиженного нефтяного газа по отношению к традиционным жидким моторным топливам. Обоснована целесообразность переоборудования дизелей в газовые ДВС с принудительным зажиганием по отношению к переоборудованию в газодизели.*

Разработана электронная микропроцессорная система управления газовыми ДВС с принудительным зажиганием, состоящая из двух главных и ряда дополнительных подсистем. Описан принцип работы главных подсистем, к которым относятся подсистема управления питанием и впрыском ЗНГ, а также подсистема управления зажиганием. Разработан и создан промышленный образец ЭБУ. На базе дизеля Д-240 изготовлен газовый ДВС модели Д-240-LPG с принудительным зажиганием.

Ключевые слова: *газовый ДВС с принудительным зажиганием, сжиженный нефтяной газ (СНГ), электронная микропроцессорная система управления газовыми ДВС, транспортные средства, работающие на СНГ.*

Annotation. *The expediency and advantages of using gas motor fuels, in particular, liquefied petroleum gas with respect to traditional liquid motor fuels, are shown. Technical solutions for the use of liquefied petroleum gas by diesel engines are presented and analysed. The expediency and advantages of converting diesel engines to gas spark ignition internal combustion engines with respect to conversion to gas diesel engines. Developed by the Ukrainian synthesis technology Avenir Gaz has for converting diesel engines to gas internal combustion engines with spark ignition. According to the synthesis technology of Avenir Gaz, re-equipment of diesel engines of vehicles is carried out on the basis of the universal electronic control system for gas internal combustion engines, which is based on the multifunctional electronic*

microprocessor control unit Avenir Gaz 37. The developed electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines with forced ignition has a modular structure and consists of two main and a number of additional subsystems. A schematic diagram of a universal electronic control system of a gas internal combustion engine with spark ignition for operation on liquefied petroleum gas is presented. The principle of operation of the main subsystems, which include the subsystem of power management and injection of liquefied petroleum gas by gas electromagnetic injectors into the intake manifold of a gas engine, and the principle of operation of the control subsystem of the ignition with two-spark ignition coils are described. A multifunctional electronic control unit Avenir Gaz 37 has been designed and manufactured. Non-motorized tests of the electronic control unit confirmed its performance.

Based on the synthesis technology of Avenir Gaz using the universal electronic control system for gas internal combustion engines with the Avenir Gaz 37 ECU, the D-240 diesel engine was converted into a gas spark ignition internal combustion engine of the D-240-LPG model.

***Keywords**: gas internal combustion engine with forced ignition, liquefied petroleum gas (LPG), electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines, vehicles operating on LPG.*

Вступ

Протягом останніх років у результаті критичного забруднення навколишнього середовища транспортними засобами (далі – ТЗ), що працюють на традиційних рідких моторних паливах, приділяється підвищена увага використанню більш екологічно чистих видів палив, до яких передусім належить газові моторні палива.

У зв'язку з цим, а також з урахуванням того, що сучасні колісні транспортні засоби (далі – КТЗ), особливо категорій М2, М3 (автобуси) та N (вантажні автомобілі та тягачі), а також комунальна та сільськогосподарська техніка (самохідні шасі, комбайни, потужні колісні та гусеничні трактори) оснащені переважно дизелями, що мають високі експлуатаційні витрати дизельного палива, стає очевидним доцільність його заміни на найбільш розповсюджене та дешеве і екологічно чисте газове моторне паливо – зріджений нафтовий газ (далі – ЗНГ, англійською мовою скорочено LPG) [1–3]. До переваг застосування ЗНГ як моторного палива, належить те, що ЗНГ зберігається на борту ТЗ під невеликим тиском у відносно легких автомобільних газових балонах і має (на відміну від стисненого природного газу) об'ємну енергетичну щільність наближену до бензинів та дизельного палива. До того ж, варто додати, що Україна завдяки налагодженій переробці нафти, має достатні обсяги ЗНГ власного виробництва.

Для підвищення використання ЗНГ зазначеними вище категоріями ТЗ, найбільш ефективним способом вважається конвертація їх дизелів у газові двигуни з примусовим запалюванням. Головними перевагами такого переобладнання є: 100 % заміна дорожчого дизельного палива на більш дешеве газове моторне паливо; зменшення рівня шкідливих викидів оксидів (CO) та діоксидів вуглецю (CO_2), оксидів азоту (NO_X) і твердих частинок у відпрацьованих газах [4]; зменшення зовнішнього шуму, створюваного сільськогосподарською технікою; збереження енергетичних параметрів газових ДВЗ із примусовим запалюванням на рівні 80 … 100 % від штатного дизеля; підвищення моторесурсу двигуна тощо.

Основна частина

Для переобладнання транспортних (автомобільних та тракторних) дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ здійснено розробку нової української синтез-технології Avenir Gaz. Згідно з синтез-технологією переобладнання ТЗ проводиться на базі створеної універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ, основою якої є перспективний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 (далі – ЕБУ, англійською – Engine Control Unit (ECU)).

Застосування синтез-технології Avenir Gaz вимагає як часткової розбірки дизеля з внесенням деяких змін до його конструкції, так і повний демонтаж систем живлення та впорскування дизельного палива (включаючи дизельні паливні баки, трубопроводи, фільтри тощо); а також внесення відповідних змін у його конструкцію ДВЗ. До змін конструкції двигуна належать як доопрацювання головки блоку циліндрів дизеля для встановлення свічок запалювання, так і доопрацювання старих поршнів або встановлення нових поршнів. Для зменшення ступеню стиснення у поршнів має бути змінена форма (об'єм) камери згоряння.

До того ж, газовий ДВЗ має бути дообладнано двома такими головними сучасними системами як: системами живлення та багатоточкового впорскування ЗНГ типу Common Rail; а також електронною системою іскрового запалювання. При цьому, система впорскування ЗНГ електромагнітними форсунками до впускного колектору ДВЗ здатна забезпечити – груповий або послідовний, чи індивідуальний вид впорскування [4, 5] у зону наближену до впускного клапана, а електронна індуктивна

система іскрового запалювання з нерухомим розподільником напруги – роботу з двоіскровими або індивідуальними котушками запалювання.

Також газовий ДВЗ має бути дообладнано додатковою системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші, а для виконання відповідних екологічних вимог може бути дообладнано додатковими системами нейтралізації відпрацьованих газів (з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором та одним або двома лямбда-зондами) та рециркуляції відпрацьованих газів.

При цьому для роботи газового ДВЗ із головними та додатковими системами мають бути встановлені ще і додаткові датчики та пристрої (у разі їх відсутності у складі дизеля).

Для забезпечення можливості роботи газового ДВЗ із різними датчиками і пристроями головних підсистем, а також із різною кількістю додаткових підсистем універсальна електронна система управління газовим ДВЗ розроблена як модульна структура, яка підтримує роботу чотирьох версій. Головним елементом такої системи є багатофункційний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37.

Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ із іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ показана на **рис. 1.** Система електронного управління газовим ДВЗ 1 з іскровим запалюванням працює у такий спосіб. На початку роботи (в момент запуску) ДВЗ 1 водій повертає ключ у замку запалювання 22 і напруга з акумулятора 23 подається до ЕБУ 41, який проводить опитування всіх датчиків та пристроїв системи на наявність і справність. За позитивними результатами опитування датчиків (зокрема датчика 49 температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ), ЕБУ 41 розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів впорскування (подачі) ЗНГ газовими електромагнітними форсунками 39, тобто величину пускової подачі ЗНГ, а також початок моментів і величину імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для пуску газового ДВЗ.

Після запуску газового ДВЗ, залежно від температури охолоджувальної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, яка визначається датчиком 49 температури охолоджувальної рідини, ЕБУ 41 розраховує величину подачі ЗНГ, а також початок моментів і величину імпульсів струму, що подається на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для роботи газового ДВЗ за мінімальної частоти обертання холостого ходу. Одночасно ЕБУ 41 розраховує положення регулятора 11 холостого ходу, забезпечуючи відповідні витрати повітря по байпасному каналу регулятора холостого ходу (далі – РХХ) за умови закритої дросельної заслінки 10.

Під час подальшої роботи та прогріву газового ДВЗ, ЕБУ 41 за сигналом датчика 49 регулює величину подачі повітря через РХХ та подачу ЗНГ, зменшуючи таким чином величину мінімальної частоти обертання холостого ходу.

При русі ТЗ та зміні навантаження (збільшення або зменшення навантаження) на газовий ДВЗ, ЕБУ 41 розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів подачі (впорскування) ЗНГ газовими електромагнітними форсунками 39 для відповідного режиму за результатами опитування таких датчиків: витратоміра повітря 19, регулятора холостого ходу 11, дросельної заслінки 10 (датчика положення 12), а також датчика температури 49 охолоджувальної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, датчика 16 частоти обертання колінчастого валу, датчика 18 положення розподільного валу та датчика детонації 20.

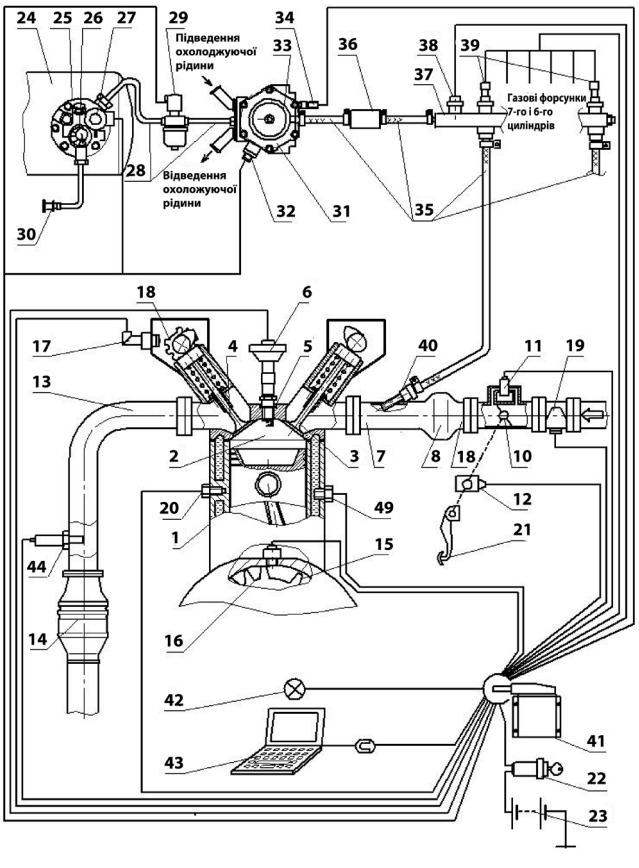

Рис. 1. Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ:
1 – газовий ДВЗ із примусовим запалюванням, що працює на ЗНГ; 2 – камера згоряння; 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – свічка запалювання; 6 – індивідуальна котушка запалювання (для ДВЗ із парним числом циліндрів можуть бути застосовані двохіскрові котушки запалювання); 7 – патрубок впускного колектора; 8 – об'єднана частина впускного колектора; 9 – дросельний пристрій із механічним приводом; 10 –

дросель; 11 – регулятор холостого ходу; 12 – датчик положення дросельної заслінки; 13 – випускний колектор; 14 – трикомпонентний каталітичний нейтралізатор; 15 – задаючий диск типу 60-2; 16 – датчик частоти обертання і положення колінчастого валу; 17 – фазний датчик положення розподільного валу; 18 – зубчасте колесо або спеціальний задаючий диск (пластина з отворами); 19 – масовий витратомір повітря з інтегрованим датчиком температури; 20 – датчик детонації; 21 – механічна педаль акселератора (педаль газу); 22 – замок запалювання; 23 – акумуляторна батарея (АКБ); 24 – автомобільний газовий балон для ЗНГ; 25 – мультиклапан газового балона; 26 – покажчик рівня ЗНГ в газовому балоні; 27 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан мультиклапана; 28 – магістральний газопровід високого тиску для ЗНГ; 29 – дистанційно керований запірний газовий клапан (магістральний електромагнітний клапан); 30 – заправний вузол; 31 – одноступінчатий газовий редуктор-випарник ЗНГ ; 32 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан газового редуктора-випарника; 33 – підігрівач газового редуктора-випарника; 34 – датчик температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ; 35 – гнучкі газопроводи (газопроводи низького тиску); 36 – газовий фільтр парової фази ЗНГ; 37 – газова рейка (Common Rail); 38 – комбінований датчик тиску і температури газу; 39 – електромагнітні газові форсунки; 40 – газове сопло; 41 – ЕБУ Avenir Gaz 37; 42 – індикатор роботи двигуна на СНД; 43 – діагностично-налагоджувальний інтерфейс; 44, 45– лямбда-зонд; 46 – датчик температури відпрацьованих газів; 49 – датчик температури охолоджувальної рідини газового ДВЗ; 50 – охолоджувач відпрацьованих газів у системі EGR; 51 – клапан системи EGR

Також ЕБУ 41 розраховує початок моментів та величину імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 6, яка в результаті генерує іскровий розряд на свічці запалювання 22. При виникненні детонації за сигналом від датчика детонації 20 ЕБУ 41 коректує величину кута випереджання запалювання (початок моментів імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 23) у бік запізнення. Для забезпечення за всіх швидкісних і навантажувальних режимів роботи ДВЗ на гомогенній стехіометричній газоповітряній суміші ($\alpha = 1$) ЕБУ 41 використовує також сигнал від лямбда-зондів 44 та 45, які встановлено перед трикомпонентним каталітичним нейтралізатором 14 та після нього.

На підставі принципової схеми універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ, була розроблена принципова схема підсистеми управління живленням та впорскуванням ЗНГ в газовий ДВЗ, яка показана на **рис. 2**, а також принципова схема підсистеми управління запалюванням, яка показана на **рис. 3**.

Підсистема управління живленням і впорскуванням ЗНГ у газовий ДВЗ складається з газового балона 11 (циліндричного або тороїдального типу), блоку заправки (на **рис. 1** не показаний), мультиклапана з інтегрованими робочим клапаном 10 і датчиком-показником рівня ЗНГ 5, газового фільтра з дистанційно керованим запірним клапаном 9, газового редуктора-випарника з інтегрованими дистанційно керованим запірним клапаном 8 (за його наявності) і датчиком температури охолоджувальної рідини (на **рис. 1** не показаний), фільтра 7 газової парової фази, газової рейки 6 з газовими електромагнітними форсунками 12 і датчиком 16 тиску та температури газу, газових сопел (встановлених на впускному колекторі), жорстких і гнучких газопроводів.

Газові електромагнітні форсунки 12 керуються ЕБУ 3 і забезпечують впорскування (подачу) газу до впускного патрубку впускного колектора кожного циліндра. Кількість газу, що надходить до циліндра, пропорційна часу відкриття газових форсунок, який розраховується ЕБУ 3 за сигналами датчиків, встановлених на ДВЗ. Момент відкриття газових форсунок 12 розраховується ЕБУ 3 за сигналом датчика 15 частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ, сформованого задаючим диском типу 60-2. За сигналами датчика 16 тиску і температури газу в рейці газових форсунок ЕБУ коригує час відкриття газових форсунок (величину подачі газу).

У «Базовій» версії системи електронного управління газовим ДВЗ, у комплектації якої відсутній датчик 17 положення розподільного валу (датчик Холла), а також датчики 18, 19 і 20, програмне забезпечення підсистеми живлення і впорскування ЗНГ забезпечує груповий вид впорскування газу. У «Середньої» і «Вищої» версій системи електронного управління, в комплектації яких присутній датчик 17 положення розподільного валу (датчик Холла), ЕБУ підсистемою живлення і впорскування ЗНГ забезпечує послідовний вид впорскування газу. А у версії «Майстер» – індивідуальний вид впорскування ЗНГ.

Наведена на **рис. 3** схема підсистеми управління запалюванням, яка укомплектована двоіскровими котушками запалювання 6, відповідає «Базовій» і «Середній» версіям системи електронного управління газовим ДВС.

Особливістю підсистеми управління запалювання є застосування двоіскрових котушок запалювання з двома високовольтними виводами, що, з одного боку, суттєво здешевлює систему запалювання, а з другого – дає змогу використовувати її тільки для ДВЗ, що мають парну кількість циліндрів.

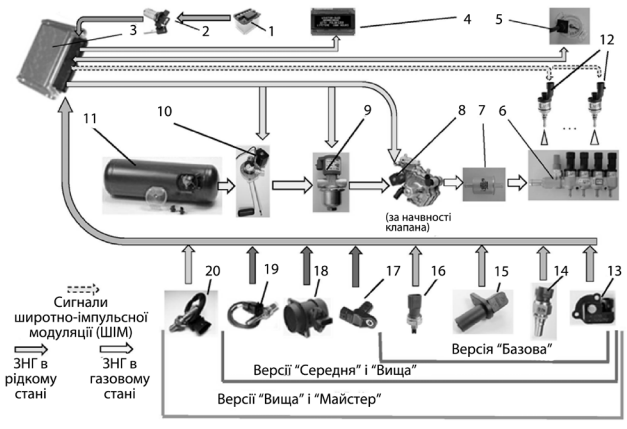

Рис. 2. Принципова схема підсистеми управління живленням та впорскуванням ЗНГ у газовий ДВЗ: 1 – акумулятор; 2 – замок запалювання; 3 – ЕБУ; 4 – рідкокристалічний дисплей (індикатор); 5 – датчик-показник рівня ЗНГ в газовому балоні, інтегрований у мультиклапан; 6 – рейка з газовими електромагнітними форсунками; 7 – фільтр газової парової фази; 8 – газовий редуктор-випарник з дистанційно керованим запірним клапаном; 9 – газовий фільтр з дистанційно керованим запірним клапаном; 10 – мультиклапан з дистанційно керованим робочим клапаном; 11 – газовий балон; 12 – газові електромагнітні форсунки; 13 – датчик кутового положення дросельної заслінки; 14 – датчик температури охолоджувальної рідини; 15 – датчик частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ; 16 – датчик тиску і температури газу в рейці газових форсунок; 17 – датчик положення розподільного валу (датчик Холла); 18 – масовий витратомір повітря з інтегрованим датчиком температури; 19 – лямбда-зонд (перед трикомпонентним каталітичним нейтралізатором); 20 – лямбда-зонд (після трикомпонентного каталітичного нейтралізатора)

У системах запалювання з двоіскровими котушками запалювання на кожні два циліндри припадає по одній котушці запалювання. Двоіскрові котушки запалювання конструктивно об'єднані в один блок. Висока напруга від котушок до свічок запалювання передається за допомогою високовольтних проводів, які на **рис. 3** не показані. Виходи вторинних обмоток котушок підключаються до свічок запалювання у двох різних циліндрах. У одному з циліндрів такої пари запалювання відбувається в кінці такту «стиснення», що забезпечує так звану «робочу іскру», а в другому – в кінці такту випуску відпрацьованих газів, що створює так звану «холосту іскру». У зв'язку з цим, для забезпечення працездатності систем запалювання з двоіскровими котушками запалювання достатньо тільки датчика частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ.

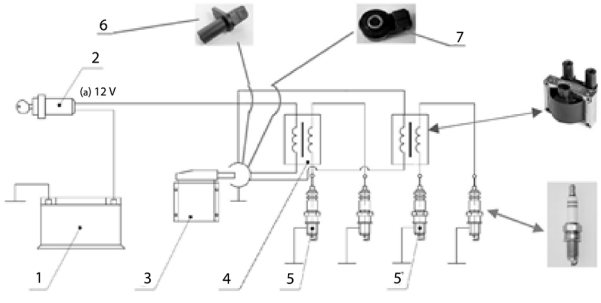

Рис. 3. Принципова схема підсистеми управління запалюванням газового ДВЗ: 1 – акумулятор; 2 – замок запалювання; 3 – ЕБУ; 4 – двоіскрові котушки запалювання; 5 – свічки запалювання; 6 – датчик частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ; 7 – датчик детонації

У «Базовій» версії програмного забезпечення управління підсистемою запалювання здійснюється ЕБУ за сигналами датчика 6 частоти обертання колінчастого валу і положення ВМТ, а також датчика детонації 7. При виникненні в циліндрах газового ДВЗ детонації, підсистема управління запалюванням за сигналом датчика детонації 7 коригує (зменшує) кут випереджання запалювання до повного припинення детонації. У «Середній» версії програмного забезпечення, підсистема управління запалюванням обчислює кут випереджання запалювання на підставі багатопараметрової характеристики, отриманої експериментальним шляхом.

До того ж варто додати, що для роботи системи запалювання газового ДВЗ обладнаного індивідуальними

а) б) в)

Рис. 4. Система наповнення циліндрів зарядом робочої суміші: а) дросельна заслінка; б) регулятор холостого ходу; в) впускний колектор ДВЗ із підсистемою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші

котушками запалювання наявність датчика положення розподільного валу (датчик Холла) – обов'язкова. Такі системи відповідають версіям системи електронного управління – «Вища» та «Майстер».

Окрім того газовий ДВЗ має бути дообладнано системою наповнення циліндрів зарядом робочої суміші. Система наповнення складається з дросельної заслінки із механічним приводом із датчиком кута повороту дросельної заслінки та механізму байпасного регулювання потоку повітря (регулятора холостого ходу, далі – РХХ). На **рис. 4** показано складові системи наповнення та впускний колектор газового ДВЗ із змонтованою системою наповнення.

Функціювання системи полягає в управлінні ЕБУ роботою РХХ, який забезпечує регулювання витрати повітря, що надходить до ДВЗ через додатковий повітряний канал (байпасний канал) в обхід дросельної заслінки.

Під час роботи на холостому ході в процесі прогрівання холодного газового ДВЗ ЕБУ керує роботою РХХ так, що в міру прогрівання газового ДВЗ, відбувається зниження його частоти обертання. Крім цього, при підключенні додаткових пристроїв (кондиціонера, електровентилятора тощо) за сигналом датчика частоти обертання ЕБУ керує роботою РХХ таким чином, що частота обертання газового ДВЗ на режимі холостого ходу не знижується.

Для роботи газового ДВЗ із головними та додатковими системами (за відсутності у складі дизеля) мають бути встановлені ще і додаткові датчики та пристрої (**див. рис. 1**).

Ефективне управління роботою газовим ДВЗ зі встановленими головними і додатковими системами та датчиками і пристроями здійснюється

Рис. 5. ЕБУ Avenir Gaz 37

Рис. 6. ЕБУ Avenir Gaz 37 з підключеними роз'ємами та дротами до датчиків і пристроїв

а) б) в)

Рис. 7. Зовнішній вигляд газового ДВЗ моделі Д-240-LPG: а) вигляд з правого боку; б) вигляд з переду; в) вигляд з лівого боку

розробленим і виготовленим промисловим зразком ЕБУ Avenir Gaz 37 [6, 7]. Зовнішній вигляд розробленого ЕБУ Avenir Gaz 37 (побудованого на основі мікроконтролера моделі STM32F4) показано на **рис. 5**, а разом із підключеними роз'ємами та джгутами проводів до датчиків і пристроїв показано на **рис. 6**.

На підставі синтез-технології Avenir Gaz із застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ із багатофункційним ЕБУ Avenir Gaz 37 на базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-LPG, зовнішній вигляд якого показано на **рис. 7**.

На **рис. 7** показано газовий ДВЗ Д-240-LPG укомплектований двома такими головними сучасними системами, як: система живлення та багатоточкового послідовного впорскування ЗНГ типу Common Rail (із впорскуванням газу електромагнітними форсунками до впускного колектора ДВЗ у зону, наближену до впускного клапана) та електронна індуктивна система іскрового запалювання з нерухомим розподільником напруги (з двоіскровими котушками запалювання). До того ж газовий ДВЗ укомплектовано системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші.

Висновки

1. Розроблено сучасну українську синтез-технологію Avenir Gaz переобладнання транспортних (тракторних та автомобільних) дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ.

2. Розроблено універсальну електронну систему управління газовими ДВЗ із іскровим запалюванням.

3. Розроблено та виготовлено багатофункційний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37, безмоторні випробування якого підтвердили его працездатність.

4. На підставі синтез-технології Avenir Gaz із застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ із ЕБУ Avenir Gaz 37 на базі дизеля Д-240 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-LPG.

5. Подальший напрям робіт пов'язано із проведенням моторних випробувань газового ДВЗ моделі Д-240-LPG та випробуваннями газового ДВЗ як силового агрегату трактора МТЗ-80.

ЛІТЕРАТУРА

1. Переобладнання дизеля самохідного шасі СШ-2540 у газові ДВЗ для роботи на газових моторних паливах / Ковальов, С. О. // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy» (17–19 травня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. – С. 9–11.

2. Разработка газовых ДВС с принудительным зажиганием на базе штатного дизеля Д-120-45 самоходного шасси СШ-2540 / Редзюк, А. М., Ковалёв, С. А. // XXII-міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – С. 46.

3. Розроблення системи управління транспортними газовими ДВЗ з примусовим запалюванням, конвертованими на базі штатних дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі / Ковальов, С.О. // Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя; Міжнародна науково-практична конференція, Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. – Київ: НУБіП, 2018. – Т. 5. – С. 174–176.

4. Автомобильный справочник BOSCH. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2000. – 896 с.

5. Системы управления бензиновыми двигателями BOSCH. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.

6. Разработка электронной системы управления газовыми ДВС, переоборудованными на базе транспортных дизелей для работы на сжиженном нефтяном газе / Ковалёв, С. А. // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 2. – С. 55–61.

7. **Універсальна електронна система управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням, конвертованими на базі дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі** / Ковальов, С. О. // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. 9-а Міжнародна науково-практична конференція, 13–14 вересня 2018 року. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 272–277.

REFERENCES

1. Koval`ov, S. A. (2017) Pereobladnannya dy`zelya samoxidnogo shasi SSh-2540 u gazovi DVZ dlya roboty` na gazovy`x motorny`x paly`vax [Replacement of diesel engine of self-propelled chassis СШ-2540 in gas engines for operation on gas motor fuels]. Proceedings of the XIII Mizhnarodnoyi naukovoyi konferenciyi «Racional`ne vy`kory`stannya energiyi v texnici. TechEnergy» (Ukraine, Kyiv, May 17 – 19, 2017), Kyiv: National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, pp. 9-11.

2. Redzyuk, A. M., Koval`ov, S. O. (2017) Razrabotka gazovyh DVS s prinuditel'nym zazhiganiem na baze shtatnogo dizelja D-120-45 samohodnogo shassi SSh-2540 [Development of gas engines with forced ignition on the basis of standard diesel D-120-45 self-propelled chassis СШ-2540] (PhD Thesis), Kharkiv: National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute».

3. Koval`ov, S. O. (2018) Rozroblennya sy`stemy` upravlinnya transportny`my` gazovy`my` DVZ z pry`musovy`m zapalyuvannyam, konvertovany`my` na bazi shtatny`x dy`zeliv dlya roboty` na zridzhenomu naftovomu gazi [Development of a control system for transport gas vehicles with forced ignition, convertible on the basis of standard diesel engines for operation on liquefied petroleum gas]. Proceedings of the International scientific and practical conference «The goals of sustainable development of the third millennium are challenges for life sciences universities» (Ukraine, Kyiv, May 23 – 25, 2018), Kyiv: National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, pp. 174-176.

4. OOO «Knizhnoe izdatel'stvo «Za rulem» (2000) Avtomobil'nyj spravochnik BOSCH [BOSCH Car Directory], Moscow: OOO «Knizhnoe izdatel'stvo «Za rulem», 896 p. / in Russian.

5. OOO «Knizhnoe izdatel'stvo «Za rulem» (2005) Sistemy upravlenija benzinovymi dvigateljami BOSCH [Control systems for petrol engines BOSCH], Moscow: OOO «Knizhnoe izdatel'stvo «Za rulem», 432 p. / in Russian.

6. Koval`ov, S. A. (2018) Razrabotka jelektronnoj sistemy upravlenija gazovymi DVS, pereoborudovannymi na baze transportnyh dizelej dlja raboty na szhizhennom neftjanom gaze [Development of an electronic control system for gas internal combustion engines converted on the basis of transport diesel engines to work on liquefied petroleum gas]. Internal combustion engines, no. 2, pp. 55 – 61.

7. Koval`ov, S. O. (2018) Universal`na elektronna sy`stema upravlinnya gazovy`my` DVZ z iskrovy`m zapalyuvannyam, konvertovany`my` na bazi dy`zeliv dlya roboty` na zridzhenomu naftovomu gazi [Universal electronic control system for gas-operated diesel engines with spark ignition, convertible diesel engines for operation on liquefied petroleum gas]. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference the Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their maintenance (Ukraine, Kherson, September 13 – 14, 2018), Kherson: Kherson State Maritime Academy, pp. 272 – 277.

УДК 621.43.019(035)

© В. В. Мержиєвський, старш. наук. співроб.,
© Ю. О. Пономарьова, пер. І категорії (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

ГАЛУЗЕВИЙ СЛОВНИК: «СПАЛИНИ»

©V. V. Merzhyievskyi, Senior Research Officer;
© Y. O. Ponomarova, Ist Category Translator (SE «State Road Transport Research Institute»)

AUTOMOTIVE INDUSTRY DICTIONARY: «SPALYNY» (EXHAUST GAS)

Із метою вдосконалення національної терміносистеми в галузі та водночас для узгодження її з міжнародними термінами пропонуємо автотранспортній спільноті розпочати роботу над укладанням галузевого тлумачно-перекладного словника. Журнал «Автошляховик України», як було зазначено в №1 (253) 2018 р., започаткував рубрику «Галузевий словник», під якою публікує розроблені нами визначення найбільш проблемних термінів українською мовою із зазначенням їх відповідників в інших мовах та з коментарями щодо їх утворення й сфери застосування.

Зауваги та пропозиції до проекту просимо надавати в редакцію на е-мейл: ikopanytsya@insat.org.ua з темою «Галузевий словник».

In order to improve the national terminology in the industry and simultaneously to coordinate it with international terms, we propose to the Ukrainian motor transport community to take part in compilation of specialized translation dictionary. The magazine «Avtoshliakhovyk Ukrainy», as indicated in the No 1 (253) 2018, have opened a new section, «Automotive Industry Dictionary», intended to publish our draft definitions of the most controversial terms in Ukrainian, with comments on their formation and scope and corresponding terms in other languages.

Please, send your remarks and ideas by email indicating «Automotive Industry Dictionary» in the subject line to: ikopanytsya@insat.org.ua.

Урухомлення транспортного засобу відбувається, зокрема, завдяки згорянню пального в тепловому двигуні. Утворені забруднювальні речовини через випускну систему потрапляють до довкілля. У стандартах та законодавстві паралельно існують кілька синонімічних виразів на позначення таких речовин: «відпрацьовані гази», «викиди», «забруднюючі речовини» [1], «вихлопні гази» [2], «спалини» [3]. Схожа ситуація склалася і в російській мові, де застосовують терміни: «отработавшие газы», «отработанные газы», «выхлопные газы», «выпускные газы», «отходящие газы». У стандарті [4], чинному в Україні, всі наведені словосполуки, крім «отработавшие газы», визнано як недопустимі для застосування. Українською мовою найближчим відповідником є термін «відпрацьовані гази». Однак слово «відпрацьований» має значення «який після використання, застосування втратив потрібні якості, властивості і став непридатним» [5], у той час як гази до потрапляння у випускну систему транспортного засобу виконують роботу, що російською мовою передано суфіксом «-авш». Крім того, корінь «прац-» застосовують переважно до живих істот, а не до неживих предметів. Варто також зауважити, що після згоряння пального утворюються крім газів й інші забруднювальні речовини, як-от вода, сажатощо. Саме тому пропонуємо застосовувати термін «спалини», скалькований з польського «spaliny». Він короткий, однозначний, інтуїтивно зрозумілий, маєлегковідтворювані зв'язки із такими термінами як «паливо», «пальне», «спалювати» – тобто відповідає вимогам стандартизування терміну згідно із стандартом [6].

Спалини; відпрацьовані *гази (Нд)*, *вихлопні гази (Нд)**– забруднювальні речовини, інші продукти, утворені внаслідок згоряння пального у двигуні транспортного засобу, які надходять через його випускну систему до атмосферного повітря, зокрема після перетворювання, знешкодження, очищення спеціальним обладнанням випускної системи (нейтралізатор, фільтр тощо).	en ru	exhaust gas отработавшие газы

*Нд– недозволені для використання терміни

ЛІТЕРАТУРА

1.**Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16 жовтня 1992 р. № 2707-XII. Режим доступу:** http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12.

2.**Про затвердження** Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки:постанова Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 № 163. **Режим доступу:** http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-п.

3. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсяги перевірки технічного стану транспортних засобів:постанова Кабінету Міністрів України від 30 січня 2012 року № 137. **Режим доступу:** http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137-2012-п.

4. Охрана природы. Атмосфера. Выбросы двигателей автомобилей, тракторов, самоходных сельскохозяйственных и строительно-дорожных машин. Термины и определения : ГОСТ 17.2.1.02-76. – [Введен в действие1977–01–01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 1976. – 9 с.

5.Словник української мови: в 11 томах. – Том 1, 1970. – С. 27. Режим доступу: http://sum.in.ua/p/1/623/2.

6. Термінологічна робота. Засади і правила розроблення стандартів на терміни та визначення понять : ДСТУ 3966:2009. – [Чинний від 2010–07–01]. – К.: Держстандарт України, 2009. – 19 с.

REFERENCES

1. Pro okhoronu atmosfernoho povitria [On Air Protection]. Law of Ukraine (1992).Available at: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12.

2. Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky [On approval of the Technical Regulations of Measuring Instruments]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2016). Available at: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-п.

3. Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia oboviazkovoho tekhnichnoho kontroliu ta obsiahy perevirky tekhnichnoho stanu transportnykh zasobiv [On approval of the procedure for mandatory technical inspection and the scope of checking roadworthiness of vehicles]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2012). Available at: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137-2012-п.

4. GOST 17.2.1.02-76 Ohranaprirody. Atmosfera. Vybrosy dvigatelej avtomobilej, traktorov, samohodnyh sel'skohozjajstvennyh i stroitel'no-dorozhnyh mashin. Terminy i opredelenija [Nature protection. Atmosphere. Terms and definitions of emission from motor vehicles, tractors, agricultural machinery and road-building vehicles].

5. Dictionary of the Ukrainian language: in 11 volumes. Vol. 1, 1970. p. 27. Available at: http://sum.in.ua/p/1/623/2.

6. DSTU 3966: 2009 Terminolohichna robota. Zasady I pravyla rozroblennia standartiv na terminy ta vyznachennia poniat [Terminology. Principles and working out procedure of standards for terms and definitions].

УДК 625.85

© В. М. Нагайчук, канд. техн. наук, голов. наук. співроб.,
© С. І. Ілляш, завідувач відділу,
© Т. А. Терещенко, канд. хім. наук, провід. наук. співроб. (ДП «ДерждорНДІ»)

ОСОБЛИВОСТІ ГАРЯЧОГО РЕСАЙКЛІНГУ НА ДОРОЗІ ЗІ ЗМІНОЮ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ

© V. M. Nagaychuk, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer,
© S. I. Illiash, Chief of Department,
© T. A. Tereshchenko, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer (SE «M. P. Shulhin State Road Research Institute»)

PARTICULARITIES OF HOT-IN-PLACE RECYCLING WITH CHANGING OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE AGGREGATE GRADATION

Анотація. *Розглянуто особливості процесів гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі та питання коригування гранулометричного складу сумішей, які регенеруються. Наведено методики розрахунку та підбору гранулометричного складу з обмеженням та без обмеження максимальної товщини шару регенерованої суміші.*

Ключові слова: *гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі, метод «Remix», метод «Remix Plus», регенерована асфальтобетонна суміш, коригування гранулометричного складу.*

Аннотация. *Рассмотрены особенности процессов горячего ресайклинга асфальтобетона на дороге и вопросы корректировки гранулометрического состава регенерируемых смесей. Приведены методики расчета и подбора гранулометрического состава с ограничением и без ограничения максимальной толщины слоя регеренированной смеси.*

Ключевые слова: *горячий ресайклинг асфальтобетона на дороге, метод «Remix», метод «Remix Plus», регенерированная асфальтобетонная смесь, корректировка гранулометрического состава.*

Annotation. *The hot in-place recycling (HIR) belongs to the successful strategies of asphalt concrete pavements rehabilitation that provides effective elimination of such surface defects as cracking, rutting, stripping, raveling, and bleeding including defects caused by the non-conformity of asphalt concrete to the standard specifications. The HIR technologies are divided into four methods: «Reshape», «Repave», «Remix», and «Remix Plus». Among those methods, «Remix» and «Remix Plus» are more complicated technologically and are connected with changing the composition of existed (old) asphalt concrete. The composition of existed asphalt concrete should be corrected through the addition some of new components (aggregates, asphalt binder, rejuvenating agent, or new hot-mixed asphalt concrete mixture) to the hot-milled old asphalt layer.*

This article is dedicated to the methods of calculation of new and recycled aggregate mixture gradation regarding to the Ukrainian standards. The proposed methods of calculation consider such main peculiarities of HIR-recycled materials and layer design as: 1) old asphalt concrete, particularly its aggregate parts, can used in a non-fractioned form only; 2) HIR-recycled asphalt concrete layer should be designed with or

without the maximal layer thickness restriction. The proposed methods also give the possibility to correct the technological process if the calculated amount of new material necessitated to the correction of old asphalt concrete aggregate grading does not allow to maintain the projected layer thickness.

The implementation of the proposed technique of calculation of aggregate grading with and without restriction of the maximal thickness of recycled asphalt concrete layer allows enhance quality of recycled materials and promotes the entire adaptation of HIR technologies to the Ukrainian standards.

***Keywords**: hot in-place recycling of asphalt concrete, «Remix», «Remix Plus», recycled asphalt concrete mixture, correction of aggregate gradation.*

Вступ

Ефективним вирішенням проблем економії природних ресурсів є впровадження процесів ресайклінгу – повторного використання відпрацьованих матеріалів. Важливим напрямом ресурсозбереження у дорожньому будівництві є ресайклінг дорожнього асфальтобетону. Технології ресайклінгу дорожнього асфальтобетону класифікують залежно від виду і призначення робіт та діапазону технологічних температур процесів виготовлення і застосування регенерованих асфальтобетонних сумішей [1, 2].

Наявність в Україні потенційно великого обсягу робіт із ремонтів та реконструкції автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям дає змогу прогнозувати широке впровадження технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону, зокрема гарячого ресайклінгу на дорозі, який забезпечує повне використання матеріалів зношеного асфальтобетонного покриття [3, 4].

Гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі (англомовний термін «*Hot In-Place Recycling*», HIR) визначають як процес гарячої регенерації без зміни або зі зміною складу асфальтобетону існуючого покриття, який виконується спеціальним комплексом дорожніх машин без винесення будь-яких технологічних операцій за межі дорожньої ділянки. Гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі виконують одним із методів:

- метод «*Reshape*»;
- метод «*Repave*»;
- метод «*Remix*»;
- метод «*Remix Plus*».

Методи «*Reshape*» та «*Repave*» призначені для усунення дефектів переважно на глибину (20-25) мм без зміни складу асфальтобетону існуючого покриття. Методи «*Remix*» та «*Remix Plus*» призначені для усунення дефектів існуючого покриття на глибину до 60 мм та передбачають коригування складу асфальтобетону.

Метою цієї статті є обґрунтування особливостей підбору складу гарячих регенерованих асфальтобетонних сумішей (далі – РГС) при виконанні ресайклінгу на дорозі методами «*Remix*» та «*Remix Plus*» із застосуванням нових мінеральних матеріалів, а також опис методики розрахунку та підбору зернового складу суміші нових мінеральних матеріалів із перевіркою зернового складу РГС на відповідність нормативним вимогам.

Основна частина

Особливості процесів гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі

Процеси гарячого ресайклінгу на дорозі застосовують для регенерації асфальтобетонних покриттів, строк служби яких не перевищує 10 років, за умов структурної цілісності та належної несучої здатності розташованих нижче шарів дорожнього одягу [5]. Виконання гарячого ресайклінгу на дорозі дає змогу ефективно усувати дефекти асфальтобетонного покриття, такі як: колійність та інші нерівності, тріщинуватість, виступання бітуму та викришування кам'яних матеріалів, а також дає змогу коригувати профіль покриття та підвищувати шорсткість поверхні.

Згідно з даними [6, 7] у процесі гарячого ресайклінгу на дорозі внаслідок розігрівання покриття асфальторозігрівачем відбувається інтенсивне старіння бітуму, що виявляється у додатковому (поряд з набутим у процесі експлуатації) зниженні показника пенетрації бітуму на 20–25 % [6], а також у підвищенні верхнього значення температурного інтервалу роботи в'яжучого в покритті[1] [7]. У зв'язку з цим при виконанні гарячого ресайклінгу на дорозі доцільним є використання регенеруючих добавок – продуктів на основі важких нафтових олив, або іншого складу, введення яких забезпечує пластифікацію вторинного бітуму [8]. Застосування регенеруючих добавок у випадках, коли властивості вторинного бітуму відповідають нормативним вимогам, є превентивним заходом.

При виконанні ресайклінгу методами «*Remix*» та «*Remix Plus*» склад асфальтобетону коригують шляхом додавання нових мінеральних матеріалів, бітуму, регенеруючої добавки, або нової асфальтобетонної суміші до гарячого розрихленого асфальтобетону існуючого покриття. Склад і кількість нових матеріалів для коригування складу та властивостей асфальтобе-

1 Визначають при випробуваннях бітумного в'яжучого в системі «Superpave».

тону визначають для кожного об'єкту окремо. Згідно з даними [9] відносний вміст матеріалів старого асфальтобетону в РГС, виготовленій за технологіями гарячого ресайклінгу на дорозі, становить переважно від 80 % до 100 % за масою.

Особливості технологічних процесів зі зміною складу асфальтобетону існуючого покриття

Процес гарячого ресайклінгу на дорозі зі зміною складу асфальтобетону складається з технологічних операцій розігрівання шару покриття, рихлення розігрітого шару, механічної переробки розрихленої суміші з додаванням нових матеріалів, укладання і ущільнення РГС. Метод «Remix Plus» передбачає також укладання на шарі РГС поверхневого (накладного) шару нової асфальтобетонної суміші з попереднім ущільненням шарів регенерованої та нової суміші за один прохід [3, 4]. До обсягу робіт включають обстеження стану дорожнього одягу та випробування матеріалів, отриманих зі зразків-кернів асфальтобетонного покриття, а також підбір складу РГС.

Колона дорожніх машин для виконання гарячого ресайклінгу на дорозі складається з самохідного асфальторозігрівача інфрачервоного опромінювання панельного типу для попереднього розігрівання (або двох асфальторозігрівачів, які працюють послідовно), ресайклера, котків. Робочі вузли та агрегати в складі ресайклера дають змогу виконувати технологічні операції розігрівання, рихлення, додавання нових матеріалів, перемішування, укладання та попереднього ущільнення шару асфальтобетонної суміші.

Покриття розігрівають до температури не вище ніж 180 ˚С (інтервал технологічних температур становить переважно (140÷170) ˚С), що забезпечує необхідну глибину рихлення асфальтобетону за допомогою фрезерувального агрегату. Максимальна глибина рихлення розігрітого шару становить 60 мм.

При використанні нових мінеральних матеріалів для коригування гранулометричного складу старого асфальтобетону матеріали розподіляють із дотриманням встановлених під час підбору складу норм витрат по поверхні розігрітого шару безпосередньо перед передньою панеллю другого асфальторозігрівача. При виконанні робіт методом «Remix» розігріті нові мінеральні матеріали можуть бути введені безпосередньо до змішувального агрегату через систему подачі нової асфальтобетонної суміші реміксера (приймальний бункер, скребковий транспортер).

Залежно від обраного методу пластифікації асфальтобетонної суміші на фрезерувальний барабан через форсунку дозатора подають регенеруючу добавку або розігрітий бітум. Розрихлена суміш змішується з доданими компонентами: регенеруючою добавкою, новим бітумом або новими мінеральними матеріалами; перемішування компонентів здійснюють за допомогою змішувача примусової дії в складі ресайклера. На виході зі змішувача суміш укладається та вирівнюється з дотриманням вимог щодо профілю поверхні, і ущільнюється. Попереднє ущільнення здійснюють за допомогою трамбувального бруса в складі ресайклера. Подальше ущільнення здійснюють із застосуванням гладковальцевого котка та вібраційного котка комбінованої дії. Попереднє ущільнення має бути завершеним при температурі суміші не нижчій за 105° С.

Під час виконання робіт методом «Remix plus» для укладання і вирівнювання шару нової асфальтобетонної суміші використовують додатковий розподільний шнек і трамбувальний брус із вигладжувальною плитою в складі ресайклера. Укладання накладного шару здійснюють при температурі шару РГС ~105 ˚С. Після розподілення обидва шари ущільнюють за допомогою вібробруса й укочують вібраційним котком і котком на пневматичних шинах.

Особливості підбору складу асфальтобетонної суміші в технологіях гарячого ресайклінгу на дорозі

Підбір складу РГС складається з підбору складу мінеральної частини, підбору складу бітуму – за необхідності, а також підбору складу РГС за вмістом в'яжучого відповідно до стандартних вимог [10].

Підбір складу бітуму здійснюють відповідно до положень [1]. Підбір складу за вмістом добавки здійснюють з урахуванням рекомендацій виробника добавки.

Підбір складу мінеральної частини РГС складається з етапів:

- визначення втрат матеріалу в асфальтобетонному покритті – за необхідності;
- визначення складу старого асфальтобетону;
- розрахунок та підбір гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для коригування складу старого асфальтобетону;
- перевіка підібраного гранулометричного складу РГС на відповідність вимогам [10] до матеріалів необхідного типу, виду та групи[2].

Особливості підбору складу мінеральної частини РГС у технологіях гарячого ресайклінгу на дорозі полягають у застосуванні асфальтобетону існуючого покриття виключно у нефракціонованому вигляді. Також при виконанні робіт із ресайклінгу асфальтобетону на дорозі розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів, яка за-

2 У наведених прикладах розрахунків вміст нових мінеральних матеріалів визначається у відсотках від маси мінеральної частини РГС.

безпечує відповідність гранулометричного складу РГС вимогам [10] до асфальтобетону необхідного типу, виду та групи, не завжди забезпечує дотримання проектної товщини шару.

Відповідно до прийнятих проектних рішень можливі два варіанти розрахунків: з обмеженням та без обмежень максимальної товщини шару РГС.

Приклад розрахунку з обмеженнями максимальної товщини шару регенерованої суміші

Для визначення втрат матеріалу в асфальтобетонному покритті використовують результати оцінювання стану покриття із застосуванням руйнівних методів (відбирання кернів, розкриття дорожнього одягу з визначенням товщини асфальтобетонного шару) або неруйнівних методів (підповерхневе георадарне зондування [11]). Результати визначення втрат матеріалу в покритті рекомендується наводити за формою **табл. 1.** Вихідні дані для розрахунків наведені в **табл. 2**.

Таблиця 1

Дані щодо втрат матеріалів у покритті

Показник, одиниця вимірювання	Значення показника
Проектна товщина шару асфальтобетонного покриття, Н, см	5,0
Фактична товщина шару асфальтобетонного покриття, $Н_ф$, см	4,5
Фактична густина асфальтобетону покриття, визначена за результатами випробувань зразків-кернів, ρ, кг/м^3	2353
Проектна витрата асфальтобетонної суміші, В, кг/м^2	120,0
Фактичний вміст матеріалу в покритті, $В_ф$, кг/м^2 ($В_ф = \frac{с \cdot Нф}{100}$)	106,0
Витрата нових матеріалів для регенерації асфальтобетонного шару, $В_н$, кг/м^2 ($В_н = В - В_ф$)	17,5
Відносний вміст нових матеріалів у регенерованій суміші, $В_{нв}$, % за масою ($В_{нв} = \frac{В_н \cdot 100}{В}$)	14,6
Відносний вміст старого асфальтобетону в регенерованій суміші, Вфв, % за масою ($В_{фв} = 100 - В_{нв}$)	85,4

Таблиця 2

Зерновий склад нових мінеральних матеріалів

Найменування матеріалу	Зерновий склад у відсотках за масою, за частковим залишком на ситі з розміром вічок, мм													
	0	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40	70
Щебінь фракції (10-20) мм	-	-	-	-	-	-	-	0,8	40,0	51,0	8,0	0,2	-	-
Щебінь фракції (5 -10) мм	-	-	-	-	-	6,5	3,5	80,0	10,0	-	-	-	-	-
Відсів дроблення гірських порід фракція (0-5) мм	9,0	8,2	14,9	15,1	12,3	16,9	17,6	5,5	0,5	-	-	-	-	-
Мінеральний порошок	81,6	10,6	5,6	1,0	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мінеральна частина старого асфальтобетону	11,9	6,7	8,6	9,9	8,2	13,2	15,5	13,5	5,1	3,5	3,9	-	-	-

Приклад розрахунку гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для коригування гранулометричного складу асфальтобетону з обмеженням максимальної товщини шару РГС наведено в **табл. 3**.

Таблиця 3

Розрахунок гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для виготовлення регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із неперервчастим різновидом гранулометрії з обмеженням максимальної товщини шару РГС

Розмір вічок сита, мм	Зерновий склад мінеральної частини старого асфальтобетону, % за масою		$Ф_{рр}$, %; $Ф_{рр} = \frac{Ф_н \cdot В_{фв}}{100}$	$Ф_{пр}$, %	Розрахунковий зерновий склад нових мінеральних матеріалів		
	$Ф_ч$	$Ф_п$			$Δ_ф$ $Δ_ф = Ф_{пр} - Ф_{рр}$	$Ф_{рн}$,*) % $Ф_{Рн} = \frac{Δ ф_i}{В_{нв}} \cdot 100$	$Δ_н$
0	11,9						
0,071	6,7	11,9	10,2	11,0	0,8	5,5	5,5
0,14	8,6	18,6	15,9	14,5	-1,4	5,5	5,5

Продовження таблиці 3

0,315	9,9	27,2	23,2	20,5	-2,7	5,5	5,5
0,63	8,2	37,1	31,7	28,0	-3,7	5,5	5,5
1,25	13,2	45,3	38,7	36,5	-2,2	5,5	5,5
2,5	15,5	58,5	50,0	47,0	-3,0	5,5	5,5
5	13,5	74,0	63,2	60,0	-3,2	5,5	5,5
10	5,1	87,5	74,7	75,5	0,8	5,5	5,5
15	3,5	92,6	79,1	88,5	9,4	64,4	64,4
20	3,9	96,1	82,1	97,5	15,4	105,5	100,0
25	-	100,0	85,4	100,0	14,6	100,0	100,0

Примітка. Фч – фактичний склад мінеральної частини старого асфальтобетону за частковим залишком на ситі;
$Ф_п$ – фактичний склад мінеральної частини старого асфальтобетону за вмістом зерен, менших даного розміру;
$Ф_{рр}$ – розрахунковий вміст мінеральних зерен старого асфальтобетону, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС;
$Ф_{пр}$ – стандартний зерновий склад асфальтобетонної суміші за середнім значенням вмісту зерен, менших даного розміру;
$Δ_ф$ – розрахунковий вміст зерен нових мінеральних матеріалів, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС;
$Ф_{рн}$ – розрахунковий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру;
$Δ_н$ – кориговані значення $Ф_{рн}$.
* – При складанні цієї графи таблиці від'ємне значення заміняється позитивним значенням попередньої строки.

Якщо окремі значення $Ф_{рн}$ суттєво перевищують 100 %, встановлена розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів є недостатньою для коригування складу асфальтобетону. В таких випадках за погодженням із Замовником та з урахуванням результатів попередніх розрахунків, розглядають можливість підвищення відносного вмісту нових мінеральних матеріалів завдяки видаленню частини старого асфальтобетонного покриття попереднім холодним фрезеруванням.

Приклад підбору складу суміші нових мінеральних матеріалів, розрахунковий склад якої наведено в **табл. 3**, з перевіркою гранулометричного складу РГС на відповідність нормативним вимогам наведено в **табл. 4**.

Таблиця 4

Підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів і регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із неперервчастим різновидом гранулометрії з перевіркою на відповідність вимогам [10], з обмеженням максимальної товщини шару РГС

Підібраний склад нових мінеральних матеріалів за фракціями, % за масою		Підібраний зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру (мм), % за масою												
		інше	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40
фр. 10-20	80	-	-	-	-	-	-	-	0,7	32,0	40,8	6,5	-	-
фр. 5-10	10	-	-	-	-	-	0,7	0,3	8,0	1,0	-	-	-	-
фр. 0-5	5	0,5	0,4	0,7	0,8	0,6	0,8	0,9	0,3	-	-	-	-	-
МП	5	4,1	0,5	0,3	0,0	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Z_i		4,6	0,9	1,0	0,8	0,7	1,5	1,2	9,0	33,0	40,8	6,5	-	-
$ΣZ_i$			4,6	5,5	6,5	7,3	8,0	9,5	10,7	19,7	52,7	93,5	100	-
Перевірка підібраного складу РГС на відповідність нормативним вимогам														
Δн			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	64,4	100	100	-
$\frac{ΣZ_i \cdot В_{нв}}{100}$			0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	2,9	7,7	13,6	14,6	-
$Ф_{рр}$			10,2	15,9	23,2	31,7	38,7	50,0	63,2	74,7	79,1	82,1	85,4	-
$Ф_{РГС} = \frac{ΣZ_i \cdot В_{нв}}{100} + Ф_{рр}$			10,9	16,7	24,2	32,8	39,9	51,4	64,8	77,6	86,8	95,7	100	-
$Ф_{пр}$			11,0	14,5	20,5	28,0	36,5	47,0	60,0	75,5	88,5	97,5	100	100
$Δ_к = \lvert Ф_{пр} - Ф_{РГС} \rvert$			0,1	2,2	3,7	4,8	3,4	4,4	4,8	2,1	1,7	1,8	0	-
Допустимі відхили від нормованого вмісту зерен менших даного розміру			±3,0	±3,5	±4,5	±5,0	±5,5	±6,0	±5,0	±6,5	±4,5	±2,5	0	-
Відповідність нормативним вимогам			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Продовження таблиці 4

Примітка. Z_i – підібраний склад суміші нових мінеральних матеріалів за частковим залишком на ситі;
ΣZ_i – підібраний склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру;
$Ф_{РГС}$ – підібраний склад РГС за вмістом зерен, менших даного розміру;
$\Delta_к$ – абсолютне значення фактичного відхилу вмісту зерен підібраного складу від нормованих значень.

Згідно з **табл. 4** для коригування зернового складу мінеральної частини старого асфальтобетону з метою отримання регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії для компенсації втрат матеріалів у покритті необхідно ввести суміш нових мінеральних матеріалів складу: щебінь фракції (10-20) мм – 80 %, щебінь фракції (5-10) мм – 10 %, відсів подрібнення гірських порід фракції (0-5) мм – 5 %, мінеральний порошок – 5 %, при загальній кількості такої суміші 14,6 %.

Результати підбору зернового складу РГС у графічному вигляді наведено на **рис. 1.**

Приклад розрахунку без обмеження максимальної товщини шару регенерованої суміші

У такому випадку розрахунок доцільно здійснювати для вмісту нових мінеральних матеріалів, наближеного до максимально можливого вмісту.

Приклад розрахунку гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для коригування гранулометричного складу асфальтобетону при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального, наведено в **табл. 5.** Вихідні дані для розрахунку прийняті згідно з **табл. 2**.

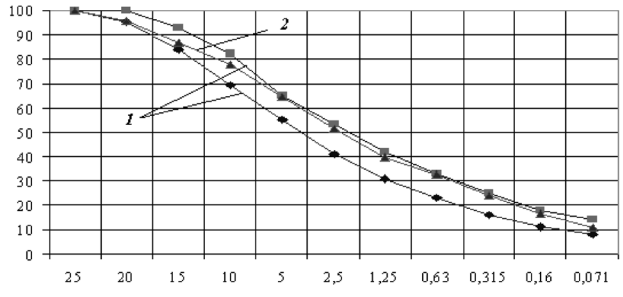

Рис. 1. Гранулометричний склад регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії, підібраний з обмеженням максимальної товщини шару РГС, де: 1 – граничні криві гранулометричного складу згідно з [10], 2 – крива гранулометричного складу РГС

Таблиця 5

Розрахунок гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального

Розмір вічок сита, мм	Зерновий склад мінеральної частини старого асфальто-бетону, % за масою*)		$Ф_{пр}$, %	$Ф_{Рв}$, % $Ф_{Рв} = \frac{Ф_{пр} \cdot 100}{Ф_п}$	$Ф_{Рр}$, % $Ф_{Рр} = \frac{Ф_п \cdot Ф_{Рв.вміс}}{100}$	Розрахунковий зерновий склад нових мінеральних матеріалів		
	$Ф_ч$	$Ф_п$				$\Delta_ф$ $\Delta_ф = Ф_{пр} - Ф_{рр}$	$Ф_{рн}$, % $Ф_{рн} = \frac{\Delta_{ф.i} \cdot 100}{\Delta_{ф\,max}}$	$\Delta_н$
0	11,9							
0,071	6,7	11,9	11,0	92,4	9,0	2,0	8,1	8,1
0,14	8,6	18,6	14,5	78,0	14,0	0,5	2,0	2,0
0,315	9,9	27,2	20,5	75,4	20,5	0	0	0
0,63	8,2	37,1	28,0	75,5	28,0	0	0	0
1,25	13,2	45,3	36,5	80,6	34,2	2,3	9,4	9,4
2,5	15,5	58,5	47,0	80,3	44,1	2,9	11,8	11,8
5	13,5	74,0	60,0	81,1	55,8	4,2	17,1	17,1
10	5,1	87,5	75,5	86,3	66,0	9,5	38,6	38,6
15	3,5	92,6	88,5	95,6	69,8	18,7	76,01	76,0
20	3,9	96,1	97,5	100	72,5	25,0	100,0	100,0
25	-	100,0	100,0	100	75,4	24,6	100,0	100,0

Приклад підбору складу суміші нових мінеральних матеріалів, розрахунковий склад якої наведено в **табл. 5**, із перевіркою гранулометричного складу РГС на відповідність нормативним вимогам наведено в **табл. 6**.

Таблиця 6

Підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів та регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із неперервчастим різновидом гранулометрії з перевіркою на відповідність вимогам [10], з вмістом нових мінеральних матеріалів, наближеним до максимального

Підібраний склад нових мінеральних матеріалів за фракціями, % за масою		Підібраний зерновий склад нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру (мм), % за масою												
		інше	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40
фр. 10-20	65	-	-	-	-	-	-	-	0,6	26,0	33,2	5,2	-	-
фр. 5-10	18	-	-	-	-	-	1,2	0,6	14,4	1,8	-	-	-	-
фр. 0-5	9	0,8	0,8	1,3	1,4	1,1	1,5	1,6	0,5	-	-	-	-	-
МП	8	6,5	0,8	0,4	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Z_i		7,3	1,6	1,7	1,5	1,3	2,7	2,2	15,5	27,8	33,2	5,2	0,0	-
ΣZ_i			7,3	8,9	10,6	12,1	13,4	16,1	18,3	33,8	61,6	94,8	100	
Перевірка складу РГС на відповідність нормативним вимогам														
$\Delta_н$			8,1	2,0	0	0	9,4	11,8	17,1	38,6	76,0	100	100	-
$\frac{\Sigma Z_i \cdot B_{нв}}{100}$			1,8	2,2	2,6	3,0	3,3	4,0	4,5	8,3	15,2	23,3	24,6	-
$Ф_{рр}$			9,0	8,8	20,5	28,0	34,2	44,1	55,8	66,0	69,8	72,5	75,4	-
$Ф_{РГС} = \frac{\Sigma Z_i \cdot B_{нв}}{100} + Ф_{рр}$			10,8	11,0	23,1	31,0	37,5	48,1	60,3	74,3	85,0	95,8	100	-
$Ф_{пр}$			11,0	14,5	20,5	28,0	36,5	47,0	60,0	75,5	88,5	97,5	100	100
$\Delta_к = \lvert Ф_{пр} - Ф_{РГС} \rvert$			0,2	3,5	2,6	3,0	1,0	1,1	0,3	1,2	3,5	1,7	0	-
Допустимі відхили від нормованого вмісту зерен менших даного розміру			±3,0	±3,5	±4,5	±5,0	±5,5	±6,0	±5,0	±6,5	±4,5	±2,5	0	-
Відповідність нормативним вимогам			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

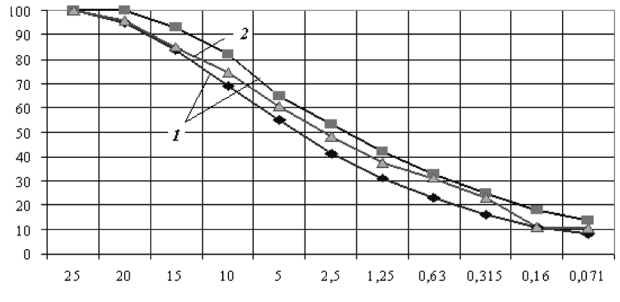

Рис. 2. Гранулометричний склад регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із неперервчастим різновидом гранулометрії, підібраний для вмісту нових мінеральних матеріалів, наближеного до максимального, де: 1 – граничні криві гранулометричного складу згідно з [10], 2 – крива гранулометричного складу РГС

Згідно з **табл. 6** для коригування зернового складу мінеральної частини старого асфальтобетону з метою отримання регенерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із неперервчастим різновидом гранулометрії при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального, необхідно ввести суміш нових мінеральних матеріалів складу: щебінь фракції (10-20) мм – 65 %, щебінь фракції (5-10) мм – 18 %, відсів подрібнення гірських порід фракції (0-5) мм – 9 %, мінеральний порошок – 8 % при загальній кількості такої суміші 24,6 %.

Результати підбору зернового складу РГС у графічному вигляді наведено на **рис. 2**.

У такому випадку для досягнення більш плавної форми кривої гранулометричного складу РГС вміст суміші нових мінеральних матеріалів може бути зменшено на декілька відсотків.

Висновки

1. Методи гарячого ресайклінгу на дорозі «Remix» та «Remix Plus» належать до найбільш ефективних методів усунення дефектів асфальтобетонного покриття, пов'язаних з невідповідністю складу асфальтобетону нормативним вимогам, зокрема внаслідок часткової втрати матеріалів. Регенерація асфальтобетонних шарів дорожнього одягу із застосуванням методів «Remix» та «Remix Plus» дає змогу усувати колійність та інші нерівності, тріщинуватість, виступання бітуму та викришування кам'яних матеріалів, а також коригувати профіль покриття та підвищувати шорсткість поверхні.

2. Особливості підбору складу мінеральної частини РГС у технологіях гарячого ресайклінгу на

дорозі полягають у застосуванні асфальтобетону існуючого покриття виключно у нефракціонованому вигляді. Також при виконанні робіт із ресайклінгу асфальтобетону на дорозі розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів, яка забезпечує відповідність гранулометричного складу РГС нормативним вимогам до асфальтобетону необхідного типу, виду та групи, не завжди забезпечує дотримання проектної товщини шару. У зв'язку з цим під час застосування нових мінеральних матеріалів для коригування складу старого асфальтобетону розрахунок гранулометричного складу необхідно виконувати з урахуванням проектних вимог за однією зі схем: з обмеженням або без обмеження максимальної товщини шару РГС.

3. Якщо кількість нових мінеральних матеріалів є недостатньою для досягнення проектної товщини шару, матеріальний баланс досягається додаванням нової асфальтобетонної суміші відповідного складу, або влаштуванням поверхневого шару нового асфальтобетону (накладного шару) методом «Remix Plus».

Для підвищення відносного вмісту нових мінеральних матеріалів, за відповідних попередніх розрахунків та погоджень із Замовником, може бути прийняте рішення щодо видалення частини шару старого асфальтобетонного покриття попереднім холодним фрезеруванням.

ЛІТЕРАТУРА

1 Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет С7/8 «Дорожні покриття». Рециклювання дорожніх одягів. Ч. 3. : посібник з гарячого рециклювання асфальтобетону зі старих покриттів на заводі. / Під заг. ред. В. Жданюка, Д. Сибільского. – Х.: Вид-во ХНАДУ, 2006. – 52 с.

2. Терещенко, Т. А. Аспекти успішного впровадження промислового ресайклінгу дорожнього асфальтобетону / Т. А. Терещенко // Зб. «Дороги і мости», Вип. 17. – К.: ДП «ДерждорНДІ», 2017. – С. 5–13.

3. Р В.3.2-03450778-837:2014 Рекомендації з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014 № 2. – 28 с. (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).

4. ТТК 37641918/03450778-174:2014 Типова технологічна карта на виконання робіт з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі методом «Ремікс» [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014 № 2. (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).

5. A Synthesis of Highway Practice: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 421 [Електронний ресурс] // Stroup-Gardiner, M. Transportation Research Board (TRB), Washington, D.C. – ISBN 978-0-309-14344-8, 70 p. – 2011. – Режим доступу: http://www.trb.org – Заголовок з екрану.

6. Hafeez, I. Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures [Текст] / Imran Hafeez, Hasan Ozer, and Imad L. Al-Qadi // Journ. of Transportation Engineering. – 2014, August. – Vol. 140. – № 8. – 04014029. – 9 p.

7. Cox, B. C. Case Study of High-Traffic In-Place Recycling on U.S. Highway 49: Multilayer Performance Assessment / Ben C., Cox, Isaac L., Howard, and Alex, Middleton // Journ. of Transportation Engineering. – 2016. – Vol. 142. – № 12. – 05016008. – 12 p.

8. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти: [Текст]. - Рекомендовано Науковою радою Укравтодору, протокол від 05.10.2017 № 1. – 40 с. (Офіційний документ Державного агентства автомобільних доріг України)

9. Kandhal, P. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Chapter 10: Hot In-Place Recycling (Materials and Mix Design) [Електронний ресурс] // P., Kandhal, R., Mallick. – US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. – Publ. № FHWA-SA-98-042. – 1997. – Режим доступу: http://www.fhwa.dot.gov – Заголовок з екрану.

10. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-119:2011. – [Чинний з 2012–10–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 45 с. – (Національний стандарт України)

11. Р В 2.3-218-02071168-781:2011 Рекомендації щодо визначення товщини конструктивних шарів існуючого дорожнього одягу [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).

REFERENCES

**1. V. Zhdanyuk, D. Sy`bil`sky`j (ed**) (2006) Vsesvitnya dorozhnya asociaciya. Tehnichny`j komitet S7/8 «Dorozhni pokry`ttya». Recy`klyuvannya dorozhnih odyagiv [World Road Association. Technical Committee C7 / 8 «Road cover». Recycling of road clothes]. Kharkiv: KhNADU, 52 p.

2. Tereshhenko, T. A. (2017) Aspekty` uspishnogo vprovadzhennya promy`slovogo resajklingu dorozhn`ogo asfal`tobetonu [Aspects of the successful implementation of industrial road reclamation road asphalt concrete]. «Roads and Bridges» Digest, vol. 17, pp. 5–13.

3. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2014) Rekomendaciyi z vidnovlennya znosheny`h shariv asfal`tobetonnogo pokry`ttya za texnologiyeyu garyachogo resajklingu na dorozi. P B.3.2-03450778-837:2014 [Recommendations for the restoration of worn-out layers of asphalt concrete coating on the technology of hot recaikeling on the road. P B.3.2-03450778-837:2014]. Oficijny`j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil`ny`h dorig Ukrayiny` [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 2, 28 p.

4. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2014) Ty`pova texnologichna karta na vy`konannya robit z vidnovlennya znosheny`h shariv asfal`tobetonnogo pokry`ttya za texnologiyeyu garyachogo resajklingu na dorozi metodom «Remiks». TTK 37641918/03450778-174:2014 [A typical technological map for the implementation of works on the restoration of worn-out layers of asphalt concrete coatings on the technology of hot recaikeling on the road by the method of «Remix». TTK 37641918/03450778-174:2014]. Oficijny`j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil`ny`h dorig Ukrayiny` [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 2.

5. Stroup-Gardiner, M. Transportation Research Board (TRB) (2011) A Synthesis of Highway Practice: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 421. Washington, D.C., 70 p. Available at: http://www.trb.org

6. Imran, Hafeez, Hasan, Ozer, and Imad, L. Al-Qadi (2014) Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures. Journ. of Transportation Engineering, vol. 140, no. 8, 9 p.

7. Ben C., Cox, Isaac L., Howard, and Alex, Middleton (2016) Case Study of High-Traffic In-Place Recycling on U.S. Highway 49: Multiyear Performance Assessment. Journ. of Transportation Engineering, vol. 142, no. 12, 12 p.

8. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2017) Rekomendaciyi z pidboru skladu ta zastosuvannya bitumomineral`ny`x sumishej z vy`kory`stannyam asfal`tobetonnoyi kry`hty`. P B.2.7-37641918-887:2017 [Recommendations on the selection and application of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb. P B.2.7-37641918-887:2017]. Oficijny`j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil`ny`h dorig Ukrayiny`[Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 1, 40 p.

9. P. Kandhal, R. Mallick (1997) Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Chapter 10: Hot In-Place Recycling (Materials and Mix Design). US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. Available at: http://www.fhwa.dot.gov

10. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (2012) Sumishi asfal`tobetonni ta asfal`tobeton dorozhnij ta aerodromny`j. Texnichni umovy` : DSTU B V.2.7-119:2011. Nacional`ny`j standart Ukrayiny` [Asphaltic Concrete Mixtures, Road and Aerodromes Asphaltic Concrete. Specifications: DSTU B V.2.7-119: 2011. National standard of Ukraine]. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 45 p.

11. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2011) Rekomendaciyi shhodo vy`znachennya tovshhy`ny` konstrukty`vny`h shariv isnuyuchogo dorozhn`ogo odyagu. P B 2.3-218-02071168-781:2011 [Recommendations for determining the thickness of the constructive layers of existing road clothing. P B 2.3-218-02071168-781:2011]. Oficijny`j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil`ny`h dorig Ukrayiny` [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine].

UDC 625.85

© V. M. Nagaychuk, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer,
© S. I. Illiash, Chief of Department,
© T. A. Tereshchenko, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer (SE «M. P. Shulhin State Road Research Institute»)

EXPERIENCE ON IMPLEMENTATION OF HOT IN-PLACE RECYCLING OF ASPHALT CONCRETE IN UKRAINE

© В. М. Нагайчук, канд. техн. наук, голов. наук. співроб.,
© С. І. Ілляш, завідувач відділу,
© Т. А. Терещенко, канд. хім. наук, провід. наук. співроб.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГАРЯЧОГО РЕСАЙКЛІНГУ АСФАЛЬТОБЕТОНУ НА ДОРОЗІ В УКРАЇНІ

Annotation. *Rehabilitation of asphalt concrete layers of road pavements using HIR technologies enables effective elimination of surface defects (rutting, cracking, raveling, bleeding (flushing)) including defects caused by the non-conformity of asphalt concrete to the standard specifications. Due to the economical and ecological advantages, HIR technologies belong to the present-day effective alternative methods of rehabilitation of asphalt concrete pavements.*

In Ukraine, HIR technologies were first applied on intermediate repair works on an area of the international road I-01 "Kyiv-Chernihiv-Novyye Yarylovichi" in the 2013. Now, HIR technologies have been applied on repair works on numerical objects including areas on such state motor roads as I-01, I-06, N-09, R-10, R-67.

The presented paper analyzes the results of monitoring of materials and technologies which was aimed on HIR performance investigation supported by State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) throughout 2014-2018.

The results of monitoring of HIR technologies including laboratory evaluation of materials and also field testing of the rehabilitated pavements led to the conclusions fitted by the world-wide experience on implementation of HIR technologies.

1. Being applied to the structurally sound pavements, HIR provides effective elimination of surface defects of flexible pavement to a depth of (50-60) mm including defects caused by the non-conformity of asphalt concrete to the standard specifications. However, HIR is not suitable for existing asphalt pavements which have too much variation in asphalt concrete composition and thickness within the project limits.

2. The efficiency of asphalt pavement rehabilitation using HIR technologies largely depends on precise engineering consideration which determines the efficiency of preparatory (repair) works including some special works such as:

- correction of cracks in case of cracking that extends below the depth of hot recycling;

- re-compaction of an unbound base layer(s) in case of the insufficient compaction causing "alligatored" network-like cracking of asphalt pavement.

3. Proper technical and working conditions of the rehabilitated pavement during the nominal life cycle could be maintained by overlaying the surface treatment using bituminous emulsion materials or by single-pass overlaying a new hot-mixed asphalt concrete layer.

Investigations accomplished during the implementation of HIR technologies allow enhance quality of recycled materials and also promote the entire adaptation of HIR technologies to the Ukrainian standards.

Keywords: *asphalt pavement rehabilitation, hot in-place recycling, recycled asphalt concrete, field testing, road pavement strength measurement, rutting measurement.*

Анотація. *Регенерація асфальтобетонних шарів дорожнього одягу з застосуванням технологій гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі дозволяє ефективно ліквідувати поверхневі дефекти (колійність, тріщинуватість, викришування кам'яних матеріалів, виступання бітуму), у тому числі такі, що виникають внаслідок невідповідності асфальтобетону нормативним вимогам. Завдяки економічним та екологічним перевагам технології гарячого*

ресайклінгу асфальтобетону на дорозі відносяться до ефективних альтернативних сучасних методів регенерації асфальтобетонних покриттів.

В Україні технології гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі було вперше застосовано у 2013 році при виконанні поточного середнього ремонту ділянки автомобільної дороги М-01 «Київ – Чернігів – Нові Яриловичі». Станом на сьогодення технології гарячого ресайклінгу на дорозі були впроваджені при виконанні ремонтних робіт на чисельних об'єктах, зокрема на ділянках автомобільних доріг державного значення М-01, М-06, Н-09, Р-10, Р-67. У цій статті виконано аналіз результатів моніторингу матеріалів і технологій, який здійснювався протягом 2014-2018 рр. з метою дослідження ефективності гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі за підтримки Укравтодору.

За результатами виконаного аналізу надано висновки щодо ефективності застосування технологій гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі, які підтверджуються світовим досвідом впровадження таких технологій:

- гарячий ресайклінг на дорозі, за умов структурної цілісності та належної несучої здатності дорожнього одягу, забезпечує ефективну ліквідацію поверхневих дефектів асфальтобетонного покриття, у тому числі пов'язаних з невідповідністю складу та властивостей асфальтобетону нормативним вимогам, на глибину до 60 мм; гарячий ресайклінг на дорозі не застосовують у випадку суттєвої неоднорідності асфальтобетону існуючого покриття на проектній ділянці;

- ефективність регенерації асфальтобетонних покриттів з застосуванням гарячого ресайклінгу на дорозі залежить від точності оцінювання стану об'єктів та матеріалів на стадії інженерних вишукувань, та, відповідно, від своєчасного виконання окремих видів ремонтних робіт, таких як:

- ремонт тріщин на глибину, що перевищує робочу глибину гарячого ресайклінгу;

- додаткове ущільнювання (за необхідності) незв'язних шарів основи з попереднім видаленням на окремій ділянці верхніх монолітних шарів;

- для збереження відповідного техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу протягом встановленого періоду експлуатації рекомендується влаштування на шарі регенерованої суміші захисного шару литої емульсійно-мінеральної суміші.

Дослідження, виконані при впровадженні технологій гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі, дозволять підвищити якість регенерованих матеріалів та забезпечити адаптацію технологій до сучасних вимог національних стандартів.

***Ключові слова**: регенерація асфальтобетонного покриття, гарячий ресайклінг на дорозі, регенерований асфальтобетон, польові випробування, вимірювання міцності дорожнього одягу, вимірювання колійності.*

***Аннотация**. Представлен анализ результатов мониторинга материалов и технологий, который осуществлялся на протяжении 2014-2018 гг. при поддержке Государственного агентства автомобильных дорог Украины (Укравтодор) с целью исследования эффективности горячего ресайклинга асфальтобетона на дороге.*

***Ключевые слова**: регенерация асфальтобетонного покрытия, горячий ресайклинг на месте выполнения работ, регенерированный асфальтобетон, полевые испытания, измерение прочности дорожной одежды, измерение колейности.*

Introduction

Hot in-place recycling of asphalt concrete (HIR) has been successfully approved as alternative to the "traditional" strategies of asphalt concrete pavements rehabilitation. Being applied to the structurally sound pavement construction on proper time, HIR extends pavement life cycle and provides effective elimination of pavement surface distresses such as rutting, cracking, bleeding (flushing), corrugation, and raveling. Economical and ecological advantages such as minimal traffic restriction during road works, minimization of haulage expenditures, and the in-place reuse of existing pavement material without storage increased the worldwide use of HIR technologies and equipment.

Materials and methods

In Ukraine, the experience on HIR technologies embraces six years from 2013 to 2018. HIR technologies should be divided into four methods: "*Reshape*", "*Repave*", "*Remix*", and "*Remix Plus*".

Method "*Reshape*" should be used to eliminate minor rutting and cracking of pavement. During the "*Reshaping*" procedure the existing layer is heated and scarified to a depth of 20 mm to 25 mm, re-spread and compacted to restore the surface profile; a rejuvenating agent is usually added.

Method "*Repave*" should be used to eliminate deeper rutting and cracks and is combined with the thin hot-mixed asphalt overlay. During the "Repaving"

procedure the distressed part of layer is processed as above to a depth of 30 mm and a new layer is spread over the reshaped and pre-compacted mix. Both layers are finally compacted together ensuring monolithic "hot-to-hot" bonding.

Method "*Remix*" should be used to correct the bitumen content and also to modify the aggregate gradation according to the method given in [1] to achieve standard requirements. During the "*Remixing*" procedure the layer is heated and scarified to a depth of 30 mm to 60 mm, modified, re-spread and compacted.

Method "*Remix Plus*" allows the single-pass laying of the two layers where the lower layer consists the mix recycled by "*Remixing*" and the upper layer consists new hot-mixed asphalt. The upper layer spreading and compaction is performed similarly to the "*Repaving*" procedure. The total thickness of two layers should be not less than 70 mm after compaction.

Results and discussion

The first Ukrainian experience on HIR technologies was performed on the international road I-01 "Kyiv–Chernihiv–Novyye Yarylovichi" in 2013 with an extent of the recycled area of 4,8 km. Now, the project has been constructed from km 98+800 to km 136+293 on the right passageway and from km 98+800 to km 135+415 on the left passageway, and also on the South driveway to the City of Chernihiv.

During last six years, HIR technologies were also used on the following state roads:

- international road I-06 "Kyiv–Chop";
- regional road R-67 "Kyiv–Nizhyn – Pryluky – Pyryatyn";
- national road N-10 "Stryi – Ivano-Frankivsk – Chernivtsi–Mamalyga";
- national road N-09 "Mukacheve–Rakhiv–Bohorodchany–Ivano-Frankivsk–Rohatyn–Bybrka–Lviv"[1].

This paper analyzes the results of monitoring of materials and technologies that was aimed on HIR performance investigation supported by the State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor).

Hot recycling of asphalt pavement on all objects was carried out with HIR train consisting of two infrared heaters Wirtgen HM 4500 and one hot remixer Wirtgen PR/PC 4500; compaction was done by a pneumatic-tired roller and a combinatorial roller with vibratory drum.

The above designated areas of I-01 with harsh traffic and high-level trucking are located on the territory of Chernihiv district and are characterized by difficult working and climate conditions. The results of the six-year monitoring of HIR performance on these objects were inserted into the SAM[2] database.

The elimination of the surface distresses of the existing pavement on the main part of I-01 could be done through the correction of old asphalt concrete composition and properties. Assuming both that factor and also structural pavement condition it was decided to appoint the "*Remixing*" procedure followed by the surface treatment using bituminous emulsion materials. The required composition of recycled asphalt concrete was achieved through the addition of new hot dense-graded fine-grained (up to 25 mm max) asphalt mixture of B-type according to the Ukrainian standard [1] in an amount of 51,4 kg/m^2 on the locations from km 114 to km 117 and in an amount of 70,0 kg/m^2 on the locations from km 127 to km 131.

To the spring of 2018, the majority of the rehabilitated areas on I-01 were characterized by good structural condition of pavement. The results of field testing in accordance with [2, 3] are presented in the **Tables 1–4** and on **Figure 1**.

1 The native designations for "I-01", "I-06", "N-09", "N-10", and "R-67" are "M-01", "M-06", "H-09", "H-10", and "P-67" respectively.

2 An electronic analytical database for collection and storage of results of monitoring of new technologies (the System Analysis of Materials, SAM)

Table 1

Condition of the recycled pavement related to the level of the surface damages and deformations (I-01)

Location, km+		Pavement condition		
from	**to**	**Type of surface defects**	**Spacing between transverse cracks, m**	**Damage level according to the organization standard [5]**
99+000	100+000	Transverse and longitudinal cracks	12-24	1[1)]
100+000	103+000		24-36	1
111+000	115+000		6-12	1
115+000	115+100	Transverse cracks	4-6	1

Продовження таблиці 4

115+100	115+200	Transverse and longitudinal cracks	6-24	1
115+300	115+400	Transverse cracks	12-24	1
115+500	115+600		12-24	1
115+600	116+700		6-12	1
116+000	116+100		6-24	1
116+100	116+200	Transverse and longitudinal cracks	12-24	1
116+200	120+000	Transverse cracks	24-36[2)]	1
120+000	123+000	Transverse and longitudinal cracks	24-36	1

1) The 1st (lowest) damage level is characterized by transverse crack opening up to 3 mm or by single longitudinal cracks without networking.
2) Excepting the area from km 116+800 to km 116+900 where the spacing was (24-26) m

Table 2

Selected typical results of rutting measurement (I-01)

Location, km+	Rut depth (mm) measured along the straightedge at a distance of (m):				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
The 1st lane/the 2nd lane on the right passageway from km 99+300 to km 130+709 (2016)					
103+600	3/2	1/2	0/2	2/1	3/6
116+900	3/3	2/2	0/0	0/3	5/3
128+050	0/2	0/2	0/0	0/0	0/3
130+050	5/3	3/3	0/2	2/3	0/1
The 1st lane/the 2nd lane on the left passageway from km 99+300 to km 130+709 (2016)					
101+000	3/0	3/3	0/1	0/2	2/2
103+600	2/0	2/2	0/0	4/2	1/3
108+400	0/4	4/0	3/0	0/0	2/0
Right passageway, locations near the km 112 (2018)					
112+000	0	4	0	3	0
112+025	1	4	0	4	1
112+075	0	3	0	2	1
Right passageway, locations near the km 130 (2018)					
130+000	0	2	0	3	0
130+025	1	1	0	1	0
130+050	1	1	0	2	1

Table 3

Selected results of friction coefficient measurement (I-01)

Location, km+/passageway	Values measured by portable slide tester	Re-counted values [1)]	Average re-counted value
km 112+011, right	60	0,48	0,49
	59	0,48	
	63	0,51	
km 118+300, left	75	0,60	0,61
	75	0,60	
	77	0,62	

Remark. The results present minimal and maximal average values measured from km 101 to km 108 on both left and right passageways.
1) Values from slide testing adducted to values when measuring by a vehicle-mounted testing device of PKRS-2u-type.

Table 4

Field-measured strength of the recycled pavement (2018, I-01)

Site of measurement, km+, passageway	Modulus values, MPa
100+500, right	316

Продовження таблиці 4

112+010, right	470
119+030, right	355
120+900, right	334
127+000, left	373
130+500, left	353

Figure 1. Transverse cracking of the recycled pavement located on km 112+010 (I-01)

Prevailed surface defects (**Table 1**) should be determined as non-load associated cracks which occur across the pavement centerline (**Figure 1**) and are caused by shrinkage from temperature changes and/or hardening of asphalt. To some extent, thermal transverse cracking can be explained by aging of bitumen during reheating reported in [5].

Rutting was measured according to the Ukrainian standard [6]. Over most of the rehabilitated pavement rutting was not visualized. Maximum rut depth was limited to 5 mm with conventional values from 2 mm to 4 mm (**Table 2**). Thus rutting should be explained as the process of additional compaction of an upper asphalt concrete layer under traffic loading without breaking the structural integrity of underneath layers.

Friction number was measured according to the Ukrainian standard [7]. The values of friction number varied from 59 to 77 as measured by portable (pendulum) slide tester and from 0,48 to 0,61 after recounting (**Table 3**). Average values (**Table 3**) higher than the necessitated standard values (0,45 for the dangerous traffic conditions as the highest value in accordance with [8]) prove high friction between pavement surface and car tire.

Strength of the rehabilitated pavement was tested according to the Ukrainian standard [9] under dynamic loading. The accounted values of modules (**Table 4**) are higher than the minimum required value of 260 MPa stated in the Ukrainian norm [10] for the motor roads of the 1st technical category.

Thus, low level of surface damages together with the results of instrumental field testing allowed the "*Remixing*" procedure followed by the surface treatment to be admitted as an effective tool to attaining the good performance of this project.

On the South driveway to the City of Chernihiv, the intermediate repair works using HIR technologies were fulfilled in 2014 on the locations from km 9+958 to km 12+805, and also in 2015 on the locations from km 0+000 to km 2+000. Two rehabilitation strategies were applied: 1) the "*Remixing*" procedure without surface treatment from km 0+000 to km 2+000; 2) the "*Reshaping*" procedure followed by the surface treatment from km 9+958 to km 12+805. The "*Remixing*" procedure was carried out using new hot-mixed asphalt with a consumption of 75 kg/m^2.

The results of rutting measurement carried out in 2016 are presented in **Table 5**.

Table 5

Selected typical results of rutting measurement on the South driveway to the City of Chernihiv (according to [3])

Location, km+	Rut depth (mm) measured along the straightedge at a distance of (m):				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
The 1st lane/the 2nd lane on right passageway from km 0+000 to km 2+000					
1+000	0/0	1/0	0/0	0/0	0/2
1+500	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0
Left passageway from km 0+000 to km 2+000					
1+000	2	2	0	0	2
1+500	2	0	0	0	2
Left/right passageway from km 9+958 to km 12+805					
10+000	6/5	2/5	0/0	0/0	0/3
10+500	4/3	3/3	0/3	3/2	0/3
11+000	3/2	3/4	2/0	0/2	2/4

Over most of the rehabilitated pavement rutting values varied from 0 to (3-4) mm (**Table 5**). Thus rutting on this object should be recognized as non-structural damage.

Single uncommon defects of the rehabilitated pavement were identified as reflective cracks (**Figure 2**).

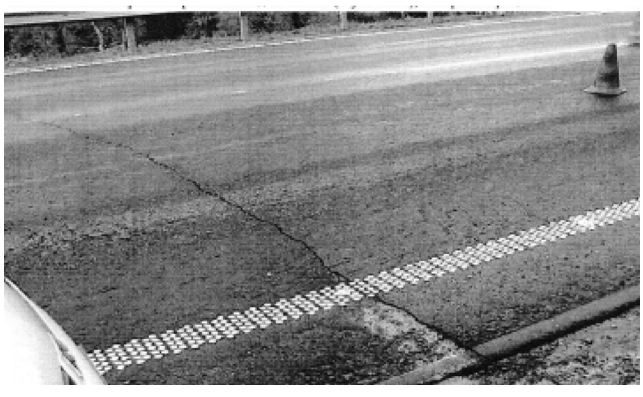

Figure 2. Reflective crack on the rehabilitated pavement located on km 10+000 (South driveway to the City of Chernihiv, according to [2])

Reflective cracks are cracks in asphalt overlay caused by cracks in the pavement structure underneath. Such cracking appeared on the South driveway on the location from km 10+000 to km 10+500 with spacing of (15-20) m should be explained by the cracking of the slag-bound base layer.

Evidence of defects elimination presented on local areas from km 10+000 to km 10+500 after one-year working emphasizes the necessity of the surface treatment overlaying.

On latter projects the approved two-stage procedure (HIR followed by the surface treatment) was strongly recommended to achieve high transport and operational characteristics of the rehabilitated flexible pavements.

The other project now inserted into the SAM database was constructed in 2014 on R-67 "Kyiv–Nizhyn–Pryluky–Pyryatyn" from km 28+500 to km 30+000. The rehabilitated area is located on quickly developed part of Chernihiv district that belongs to the 1st road and climate zone.

To the spring of 2018, the rehabilitated areas on R-67 were characterized by good structural condition of pavement. The results of field testing are presented in **Tables 6–8**.

Table 6

Condition of the recycled pavement related to the level of the surface damages and deformations (R-67, according to [2])

Location, km+		Pavement condition		
from	**to**	**Type of surface defects**	**Spacing between transverse cracks, m**	**Damage level according to the organization standard [5]**
28+600	28+700	Transverse and longitudinal cracks	4-6	1
28+800	29+200	Transverse and longitudinal cracks Raveling	6-12	1[1)]
29+600	29+700	Transverse and longitudinal cracks	6-12	1
29+700	29+800	Transverse cracks	6-24	1
29+800	29+900	Transverse and longitudinal cracks	12-24	1
1) The 1st (lowest) damage level is characterized by local raveling as non-typical defects				

Table 7

Selected typical results of rutting measurement (R-67, according to [2])

Location, km+	Rut depth (mm) measured along the straightedge at a distance of (m):				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Right passageway, locations near the km 28					
28+600	0	5	0	3	0
28+625	1	4	0	2	0
28+650	0	1	0	2	1
Right passageway, locations near the km 29					
29+850	0	4	0	3	0
29+875	1	4	0	2	0
29+900	0	3	0	3	1

Table 8

Selected results of friction coefficient measurement (R-67, according to [2])

Location, km+/passageway	Values measured by portable slide tester	Re-counted values	Average re-counted value
km 29+100, right	55	0.44	0,42
	53	0,42	
	51	0,41	
km 28+600, left	65	0,52	0,51
	60	0,48	
	65	0,52	
Remark. The results present minimal and maximal average values from measurement			

The rehabilitated pavement on R-67 was characterized by the 1st damage level; the prevailed types of surface defects were transverse cracks and longitudinal cracks (**Table 5**). The 1st level of ravelling without appearing the surface of subjacent layer could be explained by some local discrepancies of surface treatment materials or technologies.

Maximum rut depth was limited to 5 mm with its conventional values from 2 mm to 4 mm (**Table 6**), thus rutting should be qualified as a non-structural damage.

The values of friction number varied from 51 to 65 as measured by portable (pendulum) slide tester and from 0,41 to 0,52 after recounting. Average values (**Table 7**) higher than the standard values necessitated for complicated traffic conditions (0,35) prove good friction between pavement surface and car tire.

The asphalt pavement rehabilitation on I-06 was performed through the "*Remixing*" procedure followed by the surface treatment.

In 2016, the HIR performance was monitored on the areas from km 702+424 to km 707+424. Recycled asphalt concrete testing was carried out using core samples extracted from the pavement on two locations: km 705+024 on the right passageway, and km 707+200 on the left passageway (three core samples per each location). Tests results are presented in **Table 9.**

Table 9

Results of the recycled asphalt concrete testing (I-01, according to [4])

Property, unit	Required value according to the ukrainian standard [3]	Tests results, km 707+200/km 705+024			Requirements satisfaction
Asphalt layer thickness, mm	No Requirement (N/R)	Core sample 1 6,0/5,5	Core sample 2 6,4/6,9	Core sample 3 6,0/8,5	N/R
Density, g/cm^3	N/R	2,42/2,36	2,40/2,37	2,39/2,39	N/R
Water saturation, %	Not more than 3,0	0,4/3,2	1,2/3,6	1,8/2,7	Yes/No
Average density of re-compacted asphalt concrete, g/cm^3	N/R	2,30/2,36			N/R
Compaction factor	Not less than 0,98	1,00/1,00	1,00/1,00	1,00/1,00	Yes
[Unconfined] compressive strength, MPa, measured at temperature:	Not less than:				
20 °C	2,7	4,7/4,8			Yes
50 °C	1,3	2,9/3,2			Yes
Binder content, %	From 5,5 to 7,0 (recommended)	6,4/6,3			Recommendation only
Aggregate gradation calculated by the mass of particles (%) passed sieves with a cell size of (mm):					
20	100	100/100			Yes
15	100-95	95/95			Yes
10	85-75	83/84			Yes
5	65-55	64/64			Yes
2,5	53-42	49/50			Yes
1,25	43-32	32/33			Yes
0,63	33-23	24/25			Yes
0,315	25-16	18/19			Yes
0,14	18-11	13/14			Yes
0,071	14-8	9/10			Yes
Remark. Control sieve cell sizes are marked in bold.					

Table 10

Results of the recycled asphalt concrete testing (N-09, according to [4])

Property, unit	Required value according to the Ukrainian standard [3]	Tests results, km 21+250/km 32+700			Requirements satisfaction
Asphalt layer thickness, mm	N/R	Core sample 1 6,9/6,9	Core sample 2 6,5/4,8	Core sample 3 6,0/6,0	N/R
Density, g/cm^3	N/R	2,41/2,31	2,39/2,27	2,43/2,33	N/R
Water saturation, %	Not more than 3,5	0,4/0,6	1,3/3,0	0,7/1,5	Yes
Average density of re-compacted asphalt concrete, g/cm3	N/R	2,30/2,30			N/R
Compaction factor	Not less than 0,98	1,00/1,00	1,00/0,99	1,00/1,00	Yes
[Unconfined] compressive strength, MPa, measured at temperature:	Not less than:				
20 °C	2,7	4,9/4,8			Yes
50 °C	1,3	3,1/3,1			Yes
Binder content, %	From 5,5 to 7,0 (recommended)	7,9/7,9			Recommendation only
Aggregate gradation calculated by the mass of particles (%) passed sieves with a cell size of (mm):					
20	100	100/100			Yes
15	100-95	96/96			Yes
10	85-75	84/84			Yes
5	65-55	59/58			Yes
2,5	53-42	45/45			Yes
1,25	43-32	30/30			No
0,63	33-23	22/23			No/Yes
0,315	25-16	17/17			Yes
0,14	18-11	12/12			Yes
0,071	14-8	9/8			Yes
Remark. Control sieve cell sizes are marked in bold.					

Recycled asphalt concrete according to the **Table 9** could be recognized as satisfying standard requirements to the hot dense-graded fine-grained (up to 20 mm max) asphalt concrete of B-type of the 2nd grade to be applied on the project location[3]. An average value of water saturation of the recycled material on km 705+024 exceeds the standard value by 0,2 %.

In 2015, with the support of the Government program "Development of road facilities in the Ukrainian districts of the Transcarpathian region" two projects on asphalt pavement rehabilitation using HIR were realized.

The project in Transcarpathian district was constructed on N-09 "Mukacheve–Rakhiv–Bohorodchany–Ivano-Frankivsk–Rohatyn–Bybrka–Lviv". Rehabilitation was performed through the "*Remixing*" procedure followed by the surface treatment. Hot recycling was performed to a depth of 60 mm with the addition of modified new hot-mixed asphalt.

In 2016, the HIR performance was monitored on the areas from km 21+000 to km 22+000 and from km 32+500 to km 34+000. Recycled asphalt concrete testing was carried out using core samples extracted from the pavement on two locations: km 21+250 on the right passageway, and km 33+700 on the left passageway (three core samples per each location). Tests results are presented in **Table 10**.

Recycled asphalt concrete according to the **Table 10** could be recognized as satisfying standard requirements to the hot dense-graded fine-grained (up to 20 mm max) asphalt concrete of B-type of the 2nd grade to be applied on the stated location[4] with minor deviation of aggregate content on one sieve.

Nevertheless on several areas on N-09 that were characterized by the high non-uniformity of the existed asphalt pavement due to the multifold repair works using the different grades of bitumen the approbation of HIR technologies cannot be considered successful.

3 The Carpathian subregion (Precarpathians and also mountain Carpathians (A-2(K)) according to the Ukrainain standard [1].

4 The Transcarpathian subregion according to the Ukrainian standard [1].

Conclusions

Thus, the results of monitoring of HIR technologies including laboratory evaluation of materials and also field testing of the rehabilitated pavements led to the following conclusions.

1. HIR provides effective elimination of surface defects (rutting, cracking, bleeding (flushing), corrugation, and raveling) of flexible pavement to a depth of (50-60) mm including defects caused by the non-conformity of asphalt concrete to the standard specifications. However, HIR is not suitable for existing asphalt pavements which have too much variation in asphalt concrete composition within the project limits.

2. The efficiency of asphalt pavement rehabilitation using HIR technologies largely depends on precise engineering consideration including consideration of present ride quality of pavement, type, extent and severity of distresses, the amount of traffic, and the structural condition of the pavement.

3. The performance of the rehabilitated pavement is determined by the efficiency of preparatory (repair) works which may include special works such as correction of cracks or correction of some base failures.

Correction of cracks should be carried out in case of cracking that extends below the depth of hot recycling.

Correction of an unbound base layer should be carried out in case of the insufficient compaction causing "alligatored" network-like cracking of asphalt pavement. The preparatory repair works on distressed area should be done by removing the monolithic layer(s) with the subsequent re-compaction of an unbound base layer.

4. Proper technical and working conditions of the rehabilitated pavement during the nominal life cycle could be maintained by overlaying the surface treatment using bituminous emulsion materials or by single-pass overlaying a new hot-mixed asphalt concrete layer.

The in conclusions given requirements are mandatory to ensure both the standard properties of recycled asphalt concrete and also the proper transport and operational characteristics of the rehabilitated pavement.

Investigations accomplished during the implementation of HIR technologies allow enhance quality of recycled materials and also promote the entire adaptation of HIR technologies to the Ukrainian standards.

REFERENCES

1. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (2012) Sumishi asfal`tobetonni ta asfal`tobeton dorozhnij ta aerodromny`j. Tehnichni umovy` : DSTU B V.2.7-119:2011. Nacional`ny`j standart Ukrayiny` [Asphaltic Concrete Mixtures, Road and Aerodromes Asphaltic Concrete. Specifications: DSTU B V.2.7-119: 2011. National standard of Ukraine]. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 37 p.

2. SE «M. P. Shulhin State Road Research Institute» (2017) Provesty' obstezhennya, vy'znachy'ty' transportno-transportno-ekspluatacijni pokazny'ky' na dilyankah avtomobil'ny'h dorig, pobudovany'h iz zastosuvannyam novy'h materialiv i suchasny'h tehnologij, ta zanesty' rezul'taty' doslidzhen' v elektronny bazu dany'h SAM [Carry out the surveys, determine the transport and operational performance on the sections of road built with the use of new materials and modern technologies, and insert the results of the research into the electronic database of SAM]. Kyiv, Derzhavne agentstvo avtomobil'ny'h dorig Ukrayiny', Derzhavne pidpry'yemstvo "Derzhavny'j dorozhnij naukovo-doslidny'j insty'tut imeni M.P. Shul'gina.

3. Derzhavne agentstvo avtomobil'ny'h dorig Ukrayiny', Derzhavne pidpry'yemstvo "Centr naukovo-tehnichnogo suprovodu dorozhnih robit ta serty'fikaciyi dorozhnoyi produkciyi" (2016) Provesty' monitory'ing tehnologiyi "garjachy'j resajkling" pry' vy'konanni robit na avtomobil'ny'h dorogah zagal'nogo kory'stuvanny'a ta pidgotuvaty' propozy'ciyi shhodo vidnovlennya asfal'tobetonnogo pokry'ttya za dannoyu tehnologiyeyu [Monitor the hot recycling technology when performing work on public motor roads and to prepare proposals for the rehabilitation of asphalt concrete pavement using this technology]. Kyiv, Derzhavne agentstvo avtomobil'ny'h dorig Ukrayiny', Derzhavne pidpry'yemstvo "Centr naukovo-tehnichnogo suprovodu dorozhnih robit ta serty'fikaciyi dorozhnoyi produkciyi".

**4. Kharkis`ky`j avtomobil`no-dorozhny`j universy`tet** (2009) Avtomobil`ni dorogy`. Vy`znachennya transportnogo-ekspluatacijny`h pokazny`kiv dorozhnih odyagiv : SOU 45.2-00018112-042:2009. Nacional`ny`j standart Ukrayiny` [Roads. Determination of transport-operational indicators of road clothing]. Kyiv, Derzhavne agentstvo avtomobil`ny`x dorig Ukrayiny`.

5. Hafeez, I., Ozer, H., and Al-Qadi, Imad L. (2014) Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures. Journ. of Transportation Engineering, vol. 140, no. 8, 9 p.

**6. Derzhavny`j komitet budivny`cztva, arhitektury` ta zhy`tlovoyi polity`ky` Ukrayiny`** (2000) Dorogy` avtomobil`ni ta aerodromy`. Metody` vy`miryuvan` nerivnostej osnov i pokry`ttiv : DSTU B V.2.3-3-2000 (GOST 30412-96) [Automobile Roads and Aerodromes. Uneveness Measurement Methods for Base Courses and Pavements: DSTU B V.2.3-3-2000 (GOST 30412-96)]. Kyiv, Derzhavny`j komitet budivny`cztva, arxitektury` ta zhy`tlovoyi polity`ky` Ukrayiny`, 16 p.

**7. Vsesoyuzny`j dorozhnij naukovo-doslidny`j insty`tut (SoyuzdorNDI)** (1997) Dorogy` avtomobil`ni. Metod vy`znachennya koeficiyenta zcheplennya kolesa avtomobilya z dorozhnim pokry`ttyam: DSTU B V.2.3-2-97 (GOST 30413-96) [Automobile roads. Method for determining the coefficient of adhesion between vehicle wheel and road pavement: DSTU B V.2.3-2-97 (GOST 30413-96)]. SoyuzdorNDI.

**8. Derzhstandart Ukrayiny`** (1997) Bezpeka dorozhn`ogo ruhu. Avtomobil`ni dorogy`, vuly`ci ta zalizny`chni pereyizdy`. Vy`mogy` do ekspluatacijnogo stanu : DSTU 3587-97 [Road traffic safety. Automobile roads, streets and railway crossings. The requirements to operation condition: DSTU 3587-97]. Kyiv, Derzhstandart Ukrayiny`, 50 p.

9. DP «UkrNDNCz» (2017) Avtomobil`ni dorogy`. Metody` vy`znachennya deformacijny`h haraktery`sty`k zemlyanogo polotna ta dorozhn`ogo odyagu : DSTU B V.2.3-42:2016 [Motor roads. Methods for the determination of deformation characteristics of subgrade and road pavements: DSTU B V.2.3-42: 2016]. Kyiv, DP «UkrNDNCz», 43 p.

**10. Derzhavne agentstvo avtomobil`ny`h dorig Ukrayiny`** (2004) Sporudy` transportu. Dorozhnij odyag nezhorstkogo ty`pu : VBN V.2.3-218-186-2004 [Road constructions. Flexible road pavements: VBN V.2.3-218-186-2004]. Kyiv, Ukravtodor, 176 p.

УДК 625.7./8

© В. С. Каредін, керівник проектного напряму компанії «Credo-Dialogue»,
© Н. В. Павленко, канд. техн. наук, доцент (ХНАДУ)

КРЕДО НА СЛУЖБІ У ДОРОЖНИКІВ

© V. S. Karedin, Head of the Company's Project Direction «Credo-Dialogue»,
© N. V. Pavlenko, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Assistant Professor, (Kharkiv National Automobile and Highway University)

CREDO ON SERVICE BY ROADWAYERS

Анотація. *Представлено багатофункційний комплекс КРЕДО для забезпечення автоматизованої обробки даних в геодезичних роботах, при інженерних вишукуваннях, підготовці даних для геоінформаційних систем, створення цифрових моделей місцевості, автоматизованого проектування автомобільних доріг. Наведено основні можливості та функціонал найпоширеніших програмних продуктів КРЕДО для проектування об'єктів будівництва.*

Ключові слова: *автомобільна дорога, автоматизоване проектування, трасування, поздовжній профіль, організація дорожнього руху, проект ремонту, з›їзди, цифрова модель проекту, дорожній одяг.*

Аннотация. *Представлен многофункциональный комплекс КРЕДО для обеспечения автоматизированной обработки данных в геодезических работах, при инженерных изысканиях, подготовке данных для геоинформационных систем, создании цифровых моделей местности, автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Приведены основные возможности и функционал распространенных программных продуктов КРЕДО для проектирования объектов строительства.*

Ключевые слова: *автомобильная дорога, автоматизированное проектирование, трассирование, продольный профиль, организация дорожного движения, проект ремонта, съезды, цифровая модель проекта, дорожная одежда.*

Annotation. *The multifunctional CREDO complex of is aimed to provide automated data processing in geodetic works, engineering surveys, data preparation for GIS, creation of digital terrain models, automated design of roads. In the article, you can find main features and functionality of common CREDO software products for the construction projects design.*

CREDO software for road construction projects allow implementing an effective technological chain of work: from the preparation of initial data for design to the transfer of design solutions to the construction site, including 3D-systems for automatic control of road construction machines.

CREDO ROADS software can be supplemented with modules – RAMPS, TRAFFIC ORGANIZATION, SETTLEMENT, ROADS ASSESSMENT of. Solution of additional and special tasks is provided by applications: CREDO RADON, CREDO TRAFFIC, CREDO SIGN, GRIS, MORFOSTVOR and SLOPE.

The article highlights the possibility of high quality, fast and accurate calculation of the volume of work to perform the project of road repair and reconstruction. This feature of the software is the most relevant for Ukraine in terms of the huge scale of the planned works on the restoration of the transport network of the country.

In the article, the authors consider the main directions of each of the systems, their functional features and advantages for the design of transport infrastructure. For the convenience of working with the software package and design in a single regulatory space, CREDO systems are fully adapted to the regulatory standards of Ukraine

Keywords: *road, computer-aided design, tracing, longitudinal profile, traffic management, engineering surveys, repair project, ramps, digital model of the project, road pavement, 3D-systems.*

Вступ

У сучасних умовах дорожньої галузі України надзвичайно актуальним постає питання створення якісної проектної документації для вирішення завдань як нового будівництва, так і для об'єктів ремонту та реконструкції. Вирішення цього питання пов'язане з втіленням єдиного технологічного ланцюга обробки інформації – від вишукувань та проектування об'єкту до подальшої його експлуатації.

КРЕДО – це комплекс, який складається з декількох великих систем і низки додаткових задач. У результаті застосування цього комплексу формується єдиний інформаційний простір, який описує початковий стан території (моделі рельєфу, ситуації, геологічної будови) і проектні рішення щодо об'єкта.

Використання програмних продуктів комплексу КРЕДО для об'єктів дорожньо-транспортного будівництва дає змогу фахівцям побудувати ефективну технологію роботи: від підготовки вихідних даних для проектування до передачі проектних рішень на будівельний майданчик, зокрема і для 3D-систем автоматизованого управління дорожньо будівельними машинами [1].

Основна частина

Ядром комплексу КРЕДО для автоматизованого проектування доріг є система ДОРОГИ. Її застосування дає змогу виконувати проекти в умовах нового будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг.

У системі КРЕДО ДОРОГИ можна проектувати дороги всіх технічних категорій, зокрема міські вулиці, дороги загального користування, промислові, під'їзні, та внутрішньогосподарські дороги. Універсальні можливості трасування дають змогу створювати дороги і транспортні розв'язки будь-якої конфігурації.

Автоматизоване проектування з'їздів полегшує і значно прискорює розробку рішень у вузлах перетинів, злиття та розподілу транспортних потоків.

До основного функціоналу системи КРЕДО ДОРОГИ можна додавати модулі: З'ЇЗДИ, ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ, ОСАДКА, ОЦІНКА ДОРОГИ.

Для вирішення додаткових і спеціальних завдань слугують окремі програми: КРЕДО РАДОН, КРЕДО ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ, КРЕДО ЗНАК, ГРИС, МОРФОСТВОР, УКІС [1].

Основні переваги КРЕДО ДОРОГИ

Застосування системи КРЕДО ДОРОГИ забезпечує спільну роботу декількох фахівців над одним об'єктом. Інформація з окремих проектів легко і без втрат поєднується в загальний документ. Для цього можна використовувати імпорт нових даних різного типу, додавання і видалення проектів, копіювання, врізання і об'єднання даних.

Із системою додаються бібліотеки різних ресурсів, від ліній і штрихувань до об'єктів інженерного призначення, стилів типових поперечних профілів земляного полотна, шаблонів креслень, відомостей тощо.

Для створення нових даних або для їх коригування відповідно до стандартів підприємства в систему вбудовані прості та зрозумілі редактори (**рис. 1**).

Використання бібліотек ресурсів дає змогу підвищити швидкість і результативність роботи проектувальника, позбавляючи його від копіткої, монотонної праці з наповнення цифрової моделі різною інформацією і оформлення вихідних документів.

Поповнення бібліотек відбувається практично до кожного випуску системи. Варто наголосити, що ресурси, які постачаються з програмою, повністю відповідають актуальним нормам проектування і вимогам до проектної документації.

Трасування

У системі представлено низку інтерактивних методів, які дають змогу створити трасу навіть під

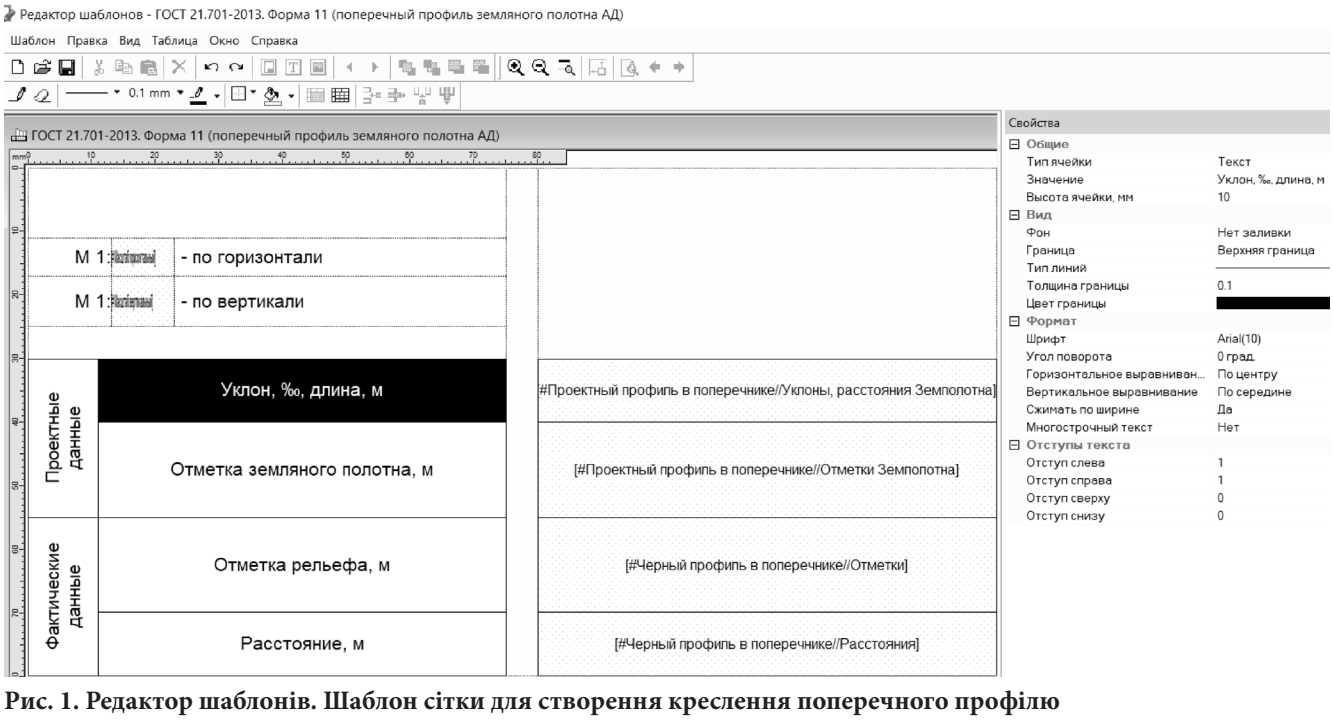

Рис. 1. Редактор шаблонів. Шаблон сітки для створення креслення поперечного профілю

час несприятливих умов її проходження, дотримуючись найвищих вимог замовника (**рис. 2**).

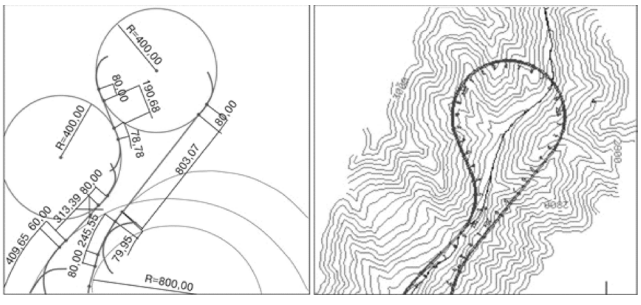

Рис. 2. Трасування методом опорних елементів

Реалізовано розрахунок перехідних кривих за типом VGV_Kurve, які, поряд з плавною зміною кривизни траси, забезпечують безпеку і зручність руху автомобіля зі змінною швидкістю. У результаті застосування цих кривих розширюються можливості проектування самопояснювальних доріг [2, 3].

Один із прикладів роботи з трасою – створення магістралі, у якій осі за напрямками руху можуть сходитись і розходитись (**рис. 3**).

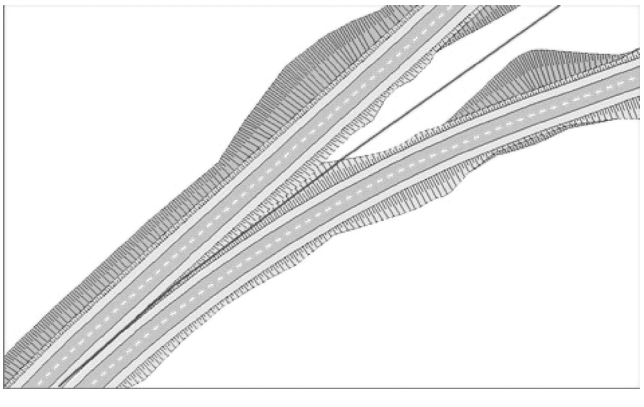

Рис. 3. Розходження осей за напрямками руху

При цьому створюється один об'єкт, а на його різних ділянках формується загальне полотно дороги або роздільні полотна з автономним налаштуванням елементів для кожного напряму: параметрами поперечного профілю, конструкції дорожнього одягу та земляного полотна.

У КРЕДО ДОРОГИ можлива заміна траси на окремій ділянці в будь-який момент роботи над проектом, при цьому втрати даних будуть мінімальні [4].

Генплан дороги

Із системою поставляються шаблони по дорогах всіх технічних категорій. Їх застосування забезпечує швидке і точне відтворення основних параметрів дороги, зокрема і планової геометрії через дорожні смуги. Такі шаблони розроблені фахівцями компанії «Кредо-Діалог» за нормами проектування, прийнятими в Україні [5].

Можна створювати свої шаблони на базі будь-якого проекту, зберігши параметри і налаштування для подальшого застосування на інших дорогах.

Різні методи побудови і універсального редагування, що закладені в систему, дають змогу створювати майданчики будь-якої конфігурації, виконувати горизонтальне планування дорожнього полотна з урахуванням стоянок і інших об'єктів придорожнього сервісу.

Створення генплану дороги через дорожні смуги забезпечує одночасну передачу даних по ширині та розташування окремих смуг на поперечному профілі.

Горизонтальне планування з'їздів і автобусних зупинок виконується автоматично. При цьому до складу поперечних профілів додаються додаткові елементи (ПШС, центральна смуга гальмування та накопичення, розділювальні смуги між потоками руху тощо) і напрямні острівці в зоні з'їздів (**рис. 4**).

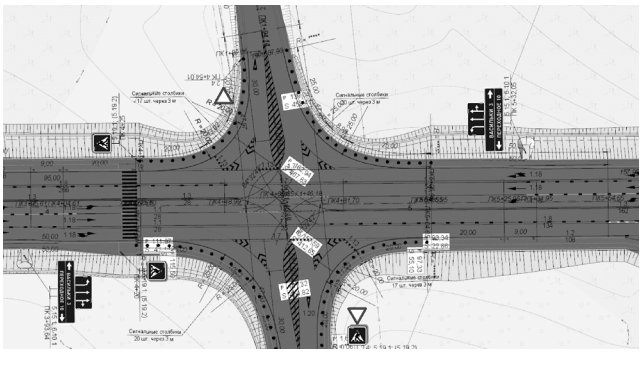

Рис. 4. Ділянка дороги з автобусною зупинкою та примиканням

Передбачена швидка перебудова всіх проектних поверхонь у зоні з'їздів і автобусних зупинок за будь-якого редагування планової геометрії, переміщення на інший пікет і за повного видалення з'їзду або зупинки (**рис. 5**).

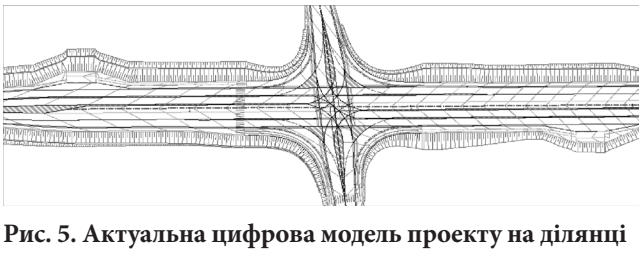

Рис. 5. Актуальна цифрова модель проекту на ділянці перехрещення після додавання автобусних зупинок

Точна передача із плану на поперечники змінних значень ширини і похилу по проїзній частині, узбіччях і укосах досягається за допомогою цільових ліній. Їх використання дає змогу швидко і точно відтворити не лише планову геометрію будь-якої криволінійної смуги, а й позначки існуючого покриття, бортового каменю під час виконання

ремонту дороги, а також лінії сполучення укосів, коли відбувається їх перекриття за близького розташування земляних полотен, наприклад, на з'їздах розв'язок або на ділянці улаштування серпантину.

Поздовжній профіль

У системі КРЕДО ДОРОГИ поздовжній профіль можна запроектувати за допомогою інтерактивного конструювання або автоматизованим створенням проектної лінії – оптимізацією або комбінуючи ці можливості.

Інтерактивне конструювання передбачає безпосередню участь проектувальника протягом всього процесу проектування поздовжнього профілю і включає створення, редагування, сполучення геометричних елементів, які й утворюють проектну лінію.

Оптимізація дає змогу отримати найкращий варіант поздовжнього профілю з максимальною автоматизацією процесу проектування. За суттю цей метод виконує підбір оптимального положення проектної лінії щодо заданого ескізу і з дотриманням критеріїв, які визначив користувач. Тому, перш ніж розпочати оптимізацію, проектувальник створює ескіз профілю (лінію керівних позначок), контрольні точки і уточнює параметри обмежень, що накладаються на профіль. У кожній із цих дій передбачені важелі впливу на кінцевий результат оптимізації.

Пошук найкращого рішення в процесі оптимізації заснований на принципах динамічного програмування. Це дає змогу протягом короткого проміжку часу прорахувати безліч можливих варіантів профілю, поступово, з певним кроком, домагаючись максимального наближення до ескізної лінії й оптимального поєднання необхідних параметрів профілю. Очевидно, що отримати такий же або хоча б близький варіант проектної лінії, використовуючи інтерактивні методи створення і редагування елементів, дуже складно та витратно за часом.

У результаті створюється проектна лінія у вигляді безперервного ланцюжка гладкосполучених сплайнів із плавною зміною кривизни [4, 6] (**рис. 6**).

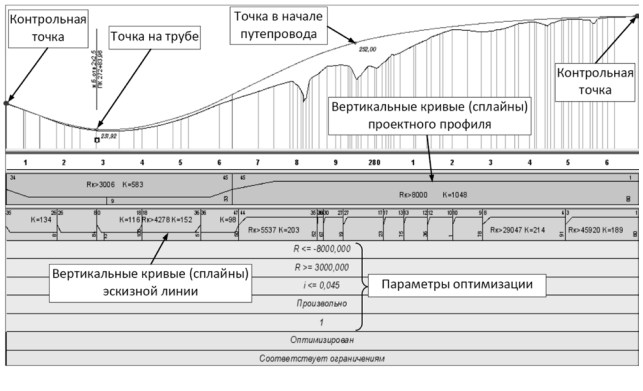

Рис. 6. Ділянка поздовжнього профілю створена сплайн-оптимізацією

У проектах ремонту цей метод забезпечує поперечне і поздовжнє вирівнювання існуючого покриття з найменшою витратою вирівнюючих матеріалів. Таким чином, виконується основна вимога до будь-якого об'єкта дорожнього будівництва – безпека і комфорт руху з одночасною мінімізацією витрат.

Для створення проектних профілів у КРЕДО ДОРОГИ можна використовувати також методи інтерактивної побудови, які широко представлені в системі. Вони дають змогу детально проробляти складні ділянки, враховуючи різні обмеження та нормативні вимоги [5]. При цьому зручно контролювати і редагувати параметри вертикальних елементів (кіл, парабол, сплайнів, прямих), виконувати їх гладке сполучення.

Оперативно оцінити отриманий результат проектувальник зможе за графіками кривизни і відхиленням від заданих ним контрольних значень.

Якісне рішення проекту неможливо без геологічних даних. Вони формуються в системі КРЕДО ГЕОЛОГІЯ, а потім використовуються під час проектування дороги (**рис. 7**).

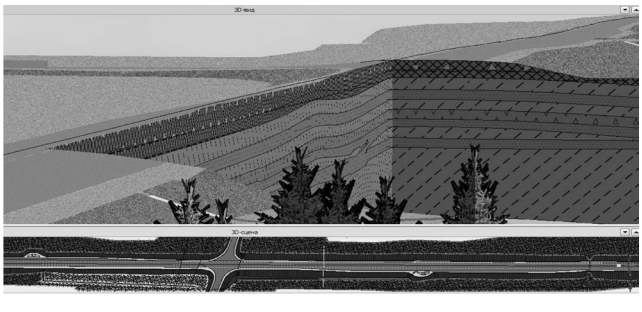

Рис. 7. 3-D модель ЦММ геологічних вишукувань

Для порівняння і вибору найкращого рішення передбачено збереження декількох варіантів профілю. Їх кількість необмежена і завжди можна оперативно повернутися до одного з опрацьованих варіантів.

Поперечний профіль

Набір різних конструктивних смуг проїзної частини та узбіччя дає змогу створювати поперечники доріг будь-якого типу, зокрема міські вулиці (**рис. 8**).

Рис. 8. Поперечник вулиці з розділювальною смугою (зліва від головної осі)

При цьому можна використовувати конструкції, відпрацьовані раніше, імпортуючи параметри поперечників із шаблону.

У системі реалізовано автоматизований розрахунок похилів на віражах декількома способами. Наприклад, на ділянках із незабезпеченим водовідведенням можна виконати відгін поперечних похилів покриття за принципом «сухих» віражів. У результаті виключаються ділянки покриття з незначними поперечними похилами, які не можуть забезпечити водовідведення з проїзної частини дороги, що особливо небезпечно на віражах.

Як підказка фахівцю – червоним кольором виділяються ті ділянки дороги, на яких порушені вимоги щодо безпечного і комфортного руху на заокругленні із заданою швидкістю (**рис. 9**).

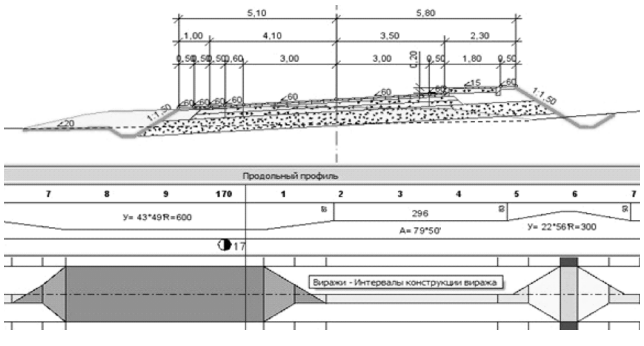

Рис. 9. Розрахунок віражу і поперечник на закругленні

Розширення на кривих в плані можна врахувати як для кожної смуги руху, до того ж з різних сторін від осі дороги, так і у вигляді спеціальної смуги загальною шириною розширення з внутрішньої сторони заокруглень.

Проектування ремонту

На сьогодні загальний стан дорожньої мережі та економіки загалом змушують сконцентруватися на ремонті існуючої мережі доріг, а проектування нових напрямків скоротити до мінімуму. Як наслідок, зростає конкуренція між проектними організаціями за об'єкти ремонту і реконструкції. Тому особливо важливо, якими інструментами володіють розробники проектів і наскільки досконально.

Однією з основних переваг системи КРЕДО ДОРОГИ є поєднання унікальних можливостей для успішного вирішення завдань з ремонту та реконструкції автомобільних доріг. Фахівці компанії «Кредо-Діалог» постійно нарощують функціонал системи в цьому напрямі, підвищуючи швидкість і якість виконання проектів такого типу. В результаті інженери-проектувальники мають незамінного помічника – систему ДОРОГИ, яка дає змогу економити дорогий час фахівця і отримувати необхідний результат.

Для виконання ремонтних робіт у системі враховані різноманітні вимоги користувачів: можна провести ремонт за шириною існуючого покриття, зберігаючи узбіччя і укоси, або створити розширення в ровиках, або передбачити зрізання узбіч; виконати вирівнювання різними способами за шириною існуючого або проектного покриття; поправити геометрію укосів тощо (**рис. 10**).

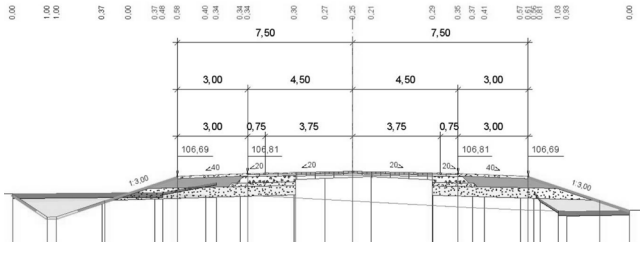

Рис. 10. Розбирання існуючого земляного полотна під час виконання ремонту та нового будівництва

Передбачено створення картограм за всіма шарами вирівнювання і за різними типами фрезерування та розбирання покриття (**рис. 11**).

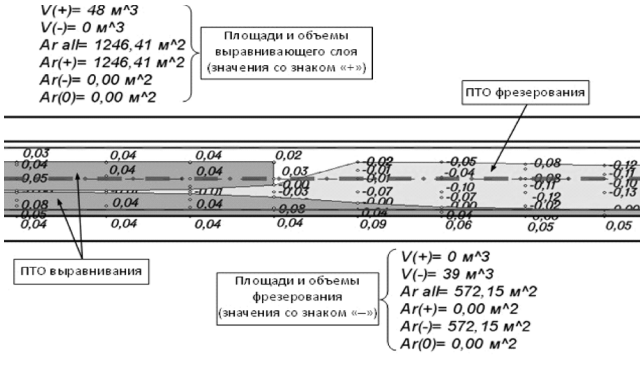

Рис. 11. Фрагмент картограмм вирівнювання і фрезерування

З'їзди

За допомогою програми КРЕДО З'ЇЗДИ, яка працює разом із системою КРЕДО ДОРОГИ, автоматизовано створення та редагування наступних типів з'їздів:

– прості примикання і перехрещення доріг в одному рівні (**рис. 12**);

– каналізовані з'їзди (**рис. 13**);

– ділянки відгалуження або злиття потоків руху на розв'зці під час перетину доріг в різних рівнях (**рис. 14**).

Програма виконує горизонтальне і вертикальне планування покриття в зоні сполучення проїзних частин, плавне сполучення узбіч і укосів двох доріг, розраховує обсяги робіт із влаштування земляного полотна та дорожнього одягу з'їзду.

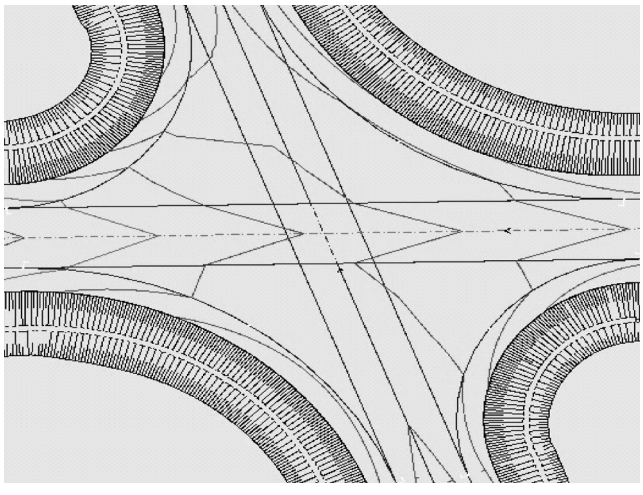

Рис. 12. Приклад створення простого перехрещення

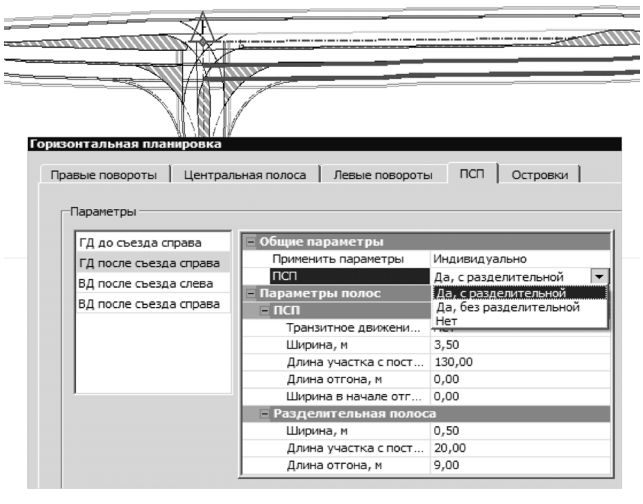

Рис. 13. Параметри горизонтального планування каналізованого примикання

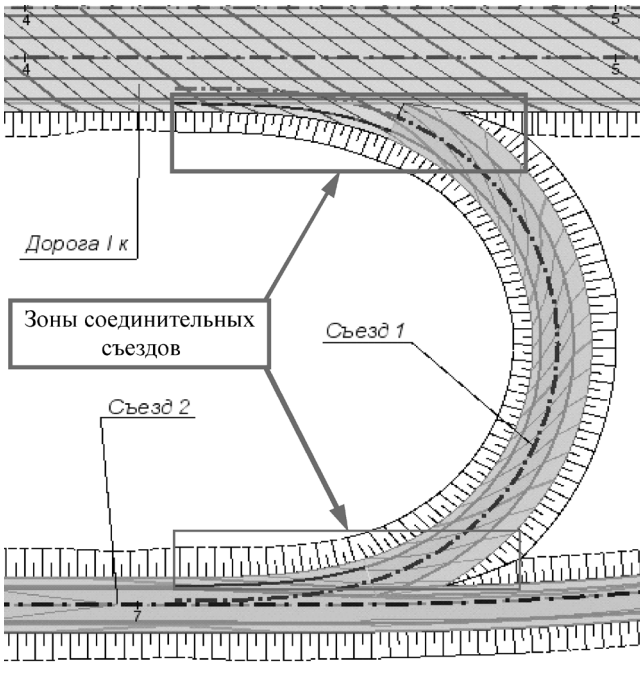

Рис. 14. Приклад створення з'їздів розв'язки

На етапі вертикального планування програма корегує поперечні профілі перехресних доріг у межах з'їзду, добудовує узбіччя і укоси в зонах заокруглень, як результат, створює цифрову модель проекту по всій довжині з'їзду, а також актуалізує цифрові моделі двох вихідних доріг.

Під час формування цифрової моделі дотримується чітке стикування різних ділянок поверхні, а окремі елементи дорожнього полотна плавно відганяються за шириною і похилами (**рис. 15**).

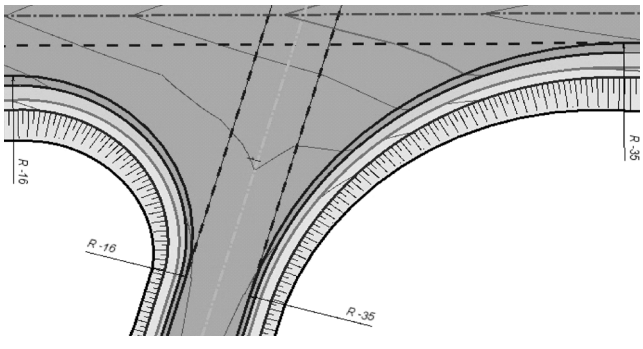

Рис. 15. Приклад примикання з плавним відгоном ширини узбіччя

Для з'їздів виконується розрахунок обсягів і формування відомостей за окремими видами робіт: влаштування дорожнього одягу, земляні, планувальні та укріплювальні роботи. За одне застосування команди можна розрахувати обсяги по всіх з'їздах, які стосуються зазначеної дороги, або вибірково, тільки по з'їздах, зазначених у списку.

На простих і каналізованих з'їздах будуються трикутники видимості для планування заходів щодо забезпечення безпеки руху на перехресних дорогах. Для оформлення таких з'їздів можна винести на план перелік розмірів, створити підписи напрямків і прив'язки пікетного положення характерних точок.

Передбачено різне редагування з'їздів усіх типів. Наприклад, можна змінювати будь-які параметри заокруглень і додаткових смуг, вибирати альтернативні схеми відгону поперечних похилів, коригувати поздовжні та поперечні профілі сполучених доріг, видаляти з'їзди і створювати нові. У будь-якому разі буде виконуватись оперативне оновлення всіх проектних поверхонь у зоні з'їзду.

За численними відгуками наших користувачів програма КРЕДО З'ЇЗДИ мінімізує витрати часу на проектування перетинів, примикань і вузлів сполучення доріг на транспортних розв'язках.

Цифрова модель проекту

У сучасних умовах тривимірна модель об'єктів, що проектуються, є невід'ємною частиною проектування.

У системі КРЕДО ДОРОГИ в автоматизованому режимі створюється цифрова модель проекту дороги. Передбачено створення не лише загальної проектної поверхні дороги, а й поверхонь окремих шарів дорожнього одягу і укріплення елементів земляного полотна, розбирання і вирівнювання. Ці дані використовуються в 3D-системах для високоточного виконання будівельних робіт.

Технології спільного використання 3D-САУ та проектних рішень із КРЕДО ДОРОГИ дають змогу значно підвищити ефективність і якість покриттів під час ремонту існуючих та будівництва нових доріг.

Використовуючи різноманітні методи проектування горизонтального і вертикального планування в плані, можна отримати цифрову модель проекту не лише дороги, а й прилеглих територій та об'єктів сервісу.

Візуально оцінити цифрові моделі місцевості та проекту дороги на будь-якій стадії розробки можна під час перегляду 3D-зображення, рухаючись за заданою траєкторією або переміщаючи і повертаючи камеру (**рис. 16**).

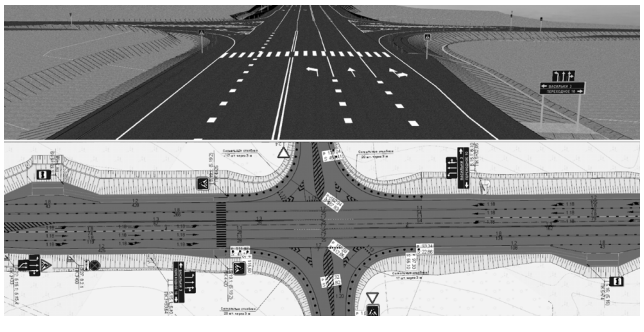

Рис. 16. Ділянка дороги в плані та у вікні 3D-вигляду

Для створення реалістичного 3D-зображення дороги застосовуються тривимірні об'єкти і текстури, вибір яких постійно розширюється.

Розрахункові задачі, відомості та креслення

Система КРЕДО ДОРОГИ виконує величезну кількість розрахункових завдань, детально, в будь-якій точці траси визначає всі характеристики дороги, розраховує обсяги робіт з її влаштування.

Оцінити проект дороги на будь-якій стадії його створення, починаючи з вихідних даних, можна шляхом визначення основних показників дороги, зокрема з використанням модуля ОЦІНКА ДОРОГИ. Його функціонал дає змогу розрахувати коефіцієнти аварійності та такі транспортно-експлуатаційні показники автомобільної дороги, як відстані видимості в прямому та зворотному напрямках і рівність покриття по IRI.

За параметрами траси в плані, поздовжньому профілі та поперечниках створюються різні адресні, об'ємні та розбивочні відомості.

Для відомостей можна отримати індивідуальні форми згідно з вимогами користувачів. Для цього служить редактор шаблонів. Редактор вміє створювати шаблони, що автоматично розширюють або звужують відомість залежно від наявності (відсутності) різних даних, наприклад, видів земляних робіт, матеріалів зміцнення укосів і кюветів, кількості геологічних шарів у виїмці тощо.

Пікети розрахункових поперечників можна призначити алгоритмічно, уточнюючи крок розрахунку і характерні точки, або задати їх інтерактивно. Передбачено формування відомостей із різним ступенем деталізації розрахунку. За одне застосування команди виконується розрахунок обсягів і створення відразу всіх обраних відомостей, а також їх збереження в одній папці.

Можна отримати зведену відомість, в якій будуть згруповані обсяги земляних, планувальних і укріплювальних робіт, необхідні для створення графіка розподілу земляних мас (**рис. 17**).

Ведомость объемов работ по устройству земляного полотна

Съезд №2

Пикет		Земляные работы								Планировочные работы						Засев трав			Укрепление кювета	
																			Кювет насыпи	
																			Откос	Дно
начала	конца	Снятие ПРС по целине, м3	Рабочий слой насыпи, м3	Верхний слой насыпи, м3	Нижний слой насыпи, м3	Насыпь прикюветных полок, м3	Выемка основная, м3	Кюветы насыпи, м3	Присыпная обочина, м3	Верх земляного полотна, м2	Откосы насыпи, м2	Откосы насыпи земполотна, м2	Откосы кюветов насыпи, м2	Дно кюветов насыпи, м2	Обочины м2	Откосы насыпи, м2	Откосы кюветов насыпи, м2	Дно кюветов насыпи м2	Растительный слой h=0,10м	Растительный слой h=0,10м
0+00	1+00	317	798	312		52	20	41	55	1108	519	202	281	34	243	519	157	0	124	34
1+00	2+00	466	1165	5567	259				61	1206	1584	1341			300	1584				
2+00	3+00	686	1214	9272	6584				62	1227	2849	2617			300	2849				
3+00	4+00	704	1426	8835	10537				54	1268	2852	2659			246	2852				
4+00	5+00	479	1477	7237	5424				34	1175	1567	1446			156	1567				
5+00	6+00	633	1299	9396	3465				64	1274	2489	2256			300	2489				
6+00	7+00	414	1198	3476					63	1229	1250	987			300	1250				
7+00	8+00	309	1247	339					49	1118	736	456			240	736				
8+00	9+00	384	1408	763					65	1168	1179	792			300	1179				
9+00	10+00	389	1357	954					66	1169	1208	820			300	1208				
Итого по км:		4780	12589	46151	26270	52	20	41	574	11942	16234	13576	281	34	2686	16234	157	0	124	34
10+00	11+00	210	790	393					42	748	545	330			192	545				
Итого по км:		210	790	393	0	0	0	0	42	748	545	330	0	0	192	545	0	0	0	0
Всего:		4990	13378	46544	26270	52	20	41	616	12689	16779	13906	281	34	2878	16779	157	0	124	34

Рис. 17. Зведена відомість обсягів робіт з улаштування земляного полотна

У системі ДОРОГИ передбачено створення креслень плану з автоматичним розкладанням листів за довжиною протяжних об'єктів і підбором області й формату креслення на окремих ділянках дороги (**рис. 18**).

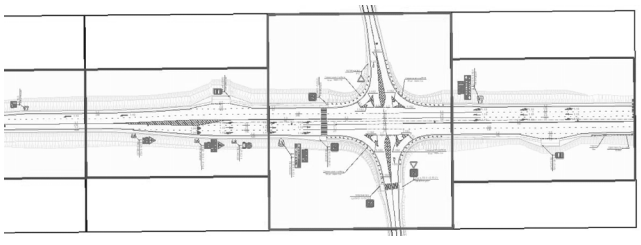

Рис. 18. Розкладання листів креслення по довжині об'єкту

Креслення поздовжнього і поперечного профілів формуються відповідно до нормативних вимог. Можна отримати комплексні креслення (план, профіль, поперечник); вивести поперечники на будь-яких пікетах, із заданим кроком, і, як варіант, із геологією; сформувати креслення типових поперечників земляного полотна та конструкції дорожнього одягу (**рис. 19**).

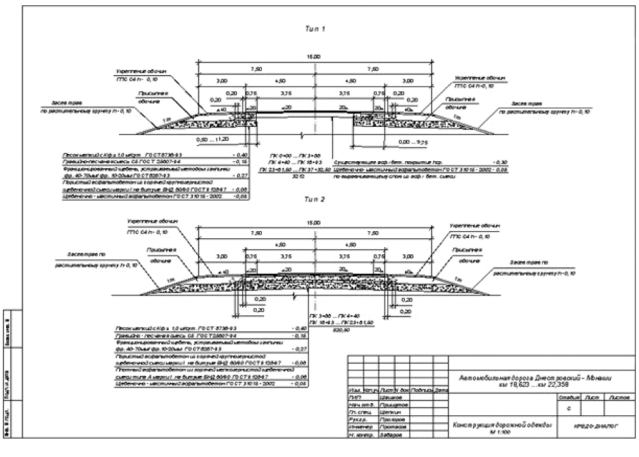

Рис. 19. Креслення конструкції дорожнього одягу

Організація руху

Основні можливості програми КРЕДО ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ

– автоматичне створення плану дорожнього полотна;

– розстановка технічних засобів організації дорожнього руху за нормами, прийнятими в різних країнах;

– створення відомостей і креслень організації дорожнього руху;

– формування тривимірного зображення моделі й оцінка проектних рішень із будь-якої точки огляду і в режимі руху за заданою траєкторією.

Програма КРЕДО ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ може працювати з прив'язкою до процесу проектування дороги й окремо від нього.

Для проектування ОДР найефективніше використовувати готове проектне рішення щодо дороги із системи КРЕДО ДОРОГИ без будь-якої конвертації даних. Одночасно зі створенням плану виконується креслення лінійної розмітки по осьовій лінії і смугах покриття дороги з урахуванням з'їздів, автобусних зупинок, ПШС і розділювальних смуг. Однак у випадках, коли немає проекту КРЕДО, можна швидко створити план дороги (вісь, дорожні смуги і елементи облаштування) з «нуля» – за картками, даними лазерного сканування або іншими матеріалами.

Для ОДР розроблені спеціальні об'єкти тематичного класифікатору. Реалізована можливість редагування і доповнення новими елементами, як власне об'єктами організації руху, так і різноманітними підписами та семантичними властивостями, через Редактор класифікатору (**рис. 20**).

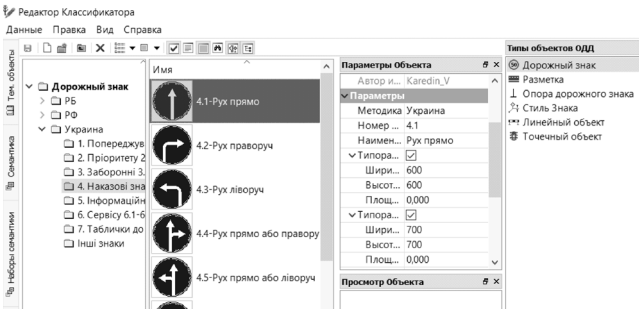

Рис. 20. Вкладка класифікатору для вибору, редагування і створення об'єктів ОДР. Дорожні знаки

Всі створювані об'єкти «чіпляються» до активної траси за місцем установки – на розділювальній смузі, узбіччі, бермі, посередині смуги руху і довільно. При цьому можна змінювати пікетне положення, бік дороги, місце установки, відстань від елементу дороги для будь-якого об'єкту через параметри створення або редагування.

При розстановці дорожніх знаків реалізовані налаштування для отримання різних конфігурацій знаків і їх відображення на плані (**рис. 21**).

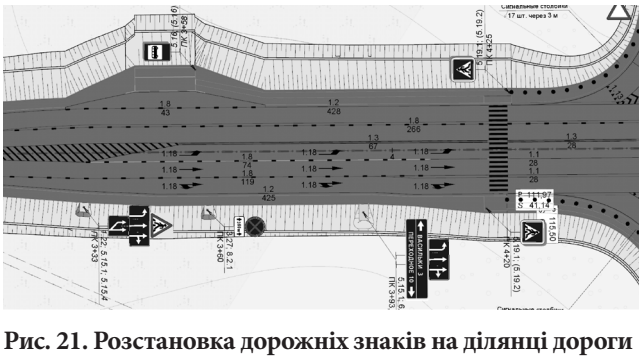

Рис. 21. Розстановка дорожніх знаків на ділянці дороги

Для знаків зі змінною інформацією, наприклад, значення швидкості, вантажопід'ємності, габаритів, індексу дороги, можна змінити відповідне значення і воно відразу відобразиться на знакові.

Для оптимізації роботи можна використовувати індивідуальні дорожні знаки, створені в програмі КРЕДО ЗНАК, через буфер обміну. Передбачено також читання зображення на знакові з растрових файлів.

Різні способи інтерактивної побудови горизонтальної розмітки дають змогу швидко доповнити лінійну розмітку за віссю і смугами покриття, яка створюється автоматично. Для точкової розмітки так само, як і для дорожнього знака, можна ввести змінну текстову частину і замінити зображення на індивідуальне з реєстрового файлу.

Широкий спектр налаштувань площадної розмітки забезпечує штрихування острівців безпеки будь-яких конфігурацій і дає змогу швидко отримувати пішохідні переходи (**рис. 22**).

Рис. 22. Горизонтальна розмітка на каналізованому перехресті

У програмі КРЕДО ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ реалізовано найбільш трудомісткий розрахунок розстановки огороджень і сигнальних стовпчиків на узбіччях дороги.

Ділянки, де потрібно встановити огородження, визначаються залежно від кривизни плану і профілю, похилів, висоти і крутизни насипу, категорії дороги, інтенсивності руху, дорожніх умов. Для кожної ділянки призначається утримуюча здатність.

Параметри для виконання розрахунків огороджень і сигнальних стовпчиків можна коригувати відповідно до нормативних вимог.

Різноманітні методи дають змогу виконувати інтерактивне створення огороджень та інших лінійних і точкових об'єктів ОДР – додавати освітлення, шумозахисні екрани, штучні нерівності, світлофори, тумби, світильники тощо.

Для візуальної оцінки елементів ОДР слугує вікно 3D-вигляду (**рис. 23**).

Рис. 23. Тривимірне зображення дороги

Для паралельної роботи з проектувальниками реалізована актуалізація проектних рішень, що дає змогу врахувати зміни проекту на поточний момент в розроблюваній схемі організації руху – оновлюються дані за планом, профілем і поперечникам дороги.

Проектування дорожніх одягів

Автоматизоване конструювання і розрахунок дорожнього одягу нежорсткого і жорсткого типів при новому будівництві та посиленні існуючих покриттів автомобільних доріг виконується в програмі КРЕДО РАДОН (**рис. 24**).

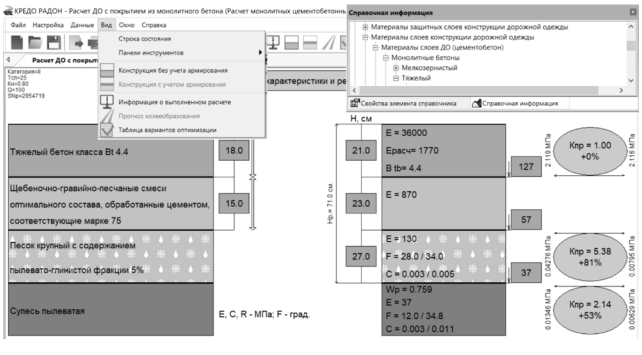

Рис. 24. Варіант розрахунку конструкції дорожнього одягу

Під час призначення конструктивних шарів КРЕДО РАДОН допомагає проектувальникам прийняти найбільш раціональні рішення. Це досягається вилученням необґрунтованого запасу міцності дорожнього одягу за допомогою автоматичного підбору товщин шарів, введенням додаткових шарів із більш дешевих місцевих матеріалів, застосуванням прошарків із геосинтетичних матеріалів.

З програмою додаються бази автомобілів і матеріалів. Вони постійно оновлюються, забезпечуючи вибір сучасних транспортних засобів та дорожньо-будівельних матеріалів, а пошук за різними критеріями полегшує роботу з базами.

За необхідності, бібліотеки можна самостійно поповнювати новими автомобілями і матеріалами для будь-яких шарів дорожнього одягу.

Результати розрахунку відразу після його виконання з'являються на екрані (**рис. 24**). Для перегляду, порівняння варіантів, збереження на жорсткому диску і швидкого друку можна використовувати короткий протокол основних параметрів розрахунку. Повний протокол містить докладний звіт про перебіг розрахунку з формулами.

Висновки

На останок наголосимо, що застосування комплексу КРЕДО дає змогу підвищити якість проектних рішень і скоротити терміни виконання проектів, а також спростити і прискорити процес обміну даними як між підрозділами всередині однієї організації, так і між виконавцями та замовниками. Новітні інформаційні технології КРЕДО дають змогу в стислі терміни, однак з досить високою якістю, створювати працездатний проектний простір для втілення у виробництво високоякісної проектної документації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Credo-Dialogue – Программные продукты комплекса CREDO. – Режим доступу: URL:https://credo-dialogue.ru/produkty.html [Електронний ресурс].

2. Величко, Г. В. Развитие методологи проектирования переходных кривых переменной скорости движения на базе решений с VGV-Kurve // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2007. – № 26. – С. 32–35.

3. Величко, Г. В. Трассирование самопоясняющих и саморегулирующих дорог // Наука и техника в дорожной отрасли: – 2010. – №2. – С. 23–26.

4. Філіппов, В. В., Величко, Г. В., Смірнова, Н. В. Автоматизоване проектування автомобільних доріг: Підручник для вузів. – Харків: ХНАДУ, 2011.

5. Автомобільні дороги : ДБН В.2.3-4-2015. – [Чинний з 2016–04–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 89 с.

6. Величко, Г. В. CREDO: Проблемы проектирования продольного профиля автомобильных дорог и их решение в CREDO 1.11 / Г. В., Величко, В. В., Филиппов // Автомобильные дороги. – 2003. – № 4.– С. 46–47.

REFERENCES

1. Credo-Dialogue. Available at: URL:https://credo-dialogue.ru/produkty.html

2. Velichko, G. V. (2007) Razvitie metodologi proektirovanija perehodnyh krivyh peremennoj skorosti dvizhenija na baze reshenij s VGV-Kurve [Development of methodology for the design of transitional curves of variable speed based on solutions with VGV-Kurve]. Avtomatizirovannye tehnologii izyskanij i proektirovanija, no.26, pp. 32–35.

3. Velichko, G. V. (2010). Trassirovanie samopojasnjajushhih i samoregulirujushhih dorog [Tracing self-explanatory and self-regulating roads]. Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli, no. 2, pp. 23–26.

**4. Filippov, V. V., Vely`chko, G. V., Smirnova, N. V.** (2011) Avtomaty`zovane proektuvannya avtomobil`ny`x dorig [Auto-designing of automobile roads]. Kharkiv: HNAHU.

5. Ministerstvo regional`nogo rozvy`tku, budivny`cztva ta zhy`tlovo-komunal`nogo gospodarstva Ukrayiny` (2015) Avtomobil`ni dorogy` : DBN V.2.3-4-2015 [Automobile roads : DBN V.2.3-4-2015]. Ky`yiv: Ministerstvo regional`nogo rozvy`tku, budivny`cztva ta zhy`tlovo-komunal`nogo gospodarstva Ukrayiny`, Kyiv, 89 p.

6. Vely`chko, G. V., Filippov, V. V. (2003) CREDO: Problemy proektirovanija prodol'nogo profilja avtomobil'nyh dorog i ih reshenie v CREDO 1.11 [CREDO: Problems of designing the longitudinal profile of automobile roads and their solution in CREDO 1.11] Avtomobil'nye dorogi, no. 4, pp. 46–47.

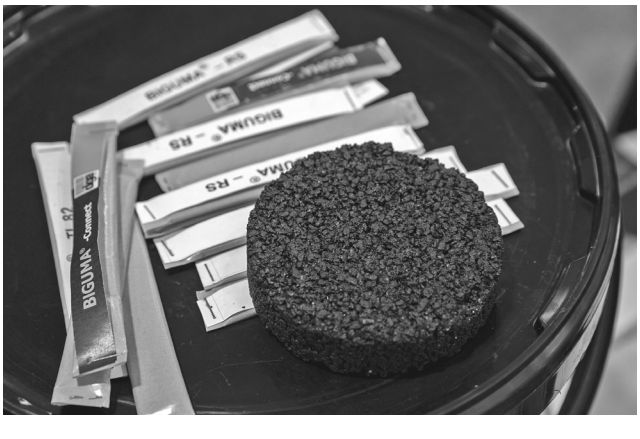

Фото з виставки АвтоДорЕкспо 2018

У КИЄВІ ПРОЙШОВ ФОРУМ «АВТОДОРЕКСПО 2018»

Із 7 до 9 листопада в Києві проходив 16-й Міжнародний форум «АВТОДОРЕКСПО», який складався із виставкита конференції, присвячених будівництву доріг і мостів. Як головний захід у своїй тематиці, Форум став віддзеркаленням стану галузі загалом і продемонстрував відчутний зріст за всіма показниками.

FORUM AVTODOREXPO WAS HELD IN KYIV

The 16th International forum AVTODOREXPO was held in Kyiv on November 7-9 and includes a specialized exhibition and a research-to-practice conference on road construction. As the main event on its market, the forum has reflected the state of the industry as a whole and showed significant growth in all indicators.

Цієї осені Міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування доріг і мостів «АВТОДОРЕКСПО» відбувся уже в 16-й раз. Він став наймасштабнішим за останні 5 років. Так, кількість учасників, які представили свої рішення на виставці, зросла на 22 % і досягла цифри у 82 компанії. При цьому збільшилася й частка іноземних експонентів, які виявили інтерес до українського ринку. У цьому році в «АВТОДОРЕКСПО» взяли участь 14 компаній з інших країн: Білорусі, Німеччини, Італії, Польщі, Туреччини, Чехії та Сінгапуру. Відвідали виставку 2018 року більше 2300 фахівців з різних регіонів України та закордону, що на 24 % більше, ніж роком раніше.

«Із року в рік ця виставка зростає. Це показує, як розвивається ринок, як розвивається дорожня галузь. Нам потрібні нові компанії на українському ринку, нам потрібна конкуренція, тому що конкуренція означає низькі ціни й кращу якість. І ми намагаємося підтримувати такі ініціативи, як ця виставка», – зазначив керівник Державного агентства автомобільних доріг України Славомір Новак, який за традицією урочисто відкрив Форум.

У списку імен «АВТОДОРЕКСПО 2018» були найбільші виробники і постачальники, такі як: ASTEC, HOFMANN, MARINI MAKINA, MASSENZA INTERNATIONAL, VOLVO, АЛЬЯНС ЕНЕРГО ТРЕЙД, АМАКО УКРАЇНА, АСБУД-УКРАЇНА, АСТРА, БЛАСТРАК УКРАЇНА, ВІРТГЕН УКРАЇНА, ДОРМАШ ГРУП, ЄВРОІЗОЛ ГЕОСИНТЕТИКС, КРЕДМАШ, МАХІНА-ТСТ, ОРІОН, ПРОЛОГ ТД, СТІМ та інші. При цьому більше 20 % експонентів демонстрували тут свої рішення вперше. Це компанії ALMIX ASIA, BELLATOR, E-MAK MAKINE, ROADTEC, SAINT-GOBAIN ADFORS, SIGMA ASPHALT TECHNOLOGY, TRECAN COMBUSTION, VESTEC, ТРІНІТІ-ГРУП, ЮНІВЕРСАЛ СОЛЮШН та інші.

Форум «АВТОДОРЕКСПО» чітко спеціалізований на технології дорожнього будівництва і при цьому охоплює найширший спектр рішень у своєму сегменті. Зокрема, тут демонструвались асфальтобетонні заводи і бітумні установки, машини і матеріали для нанесення дорожньої розмітки, армуючі матеріали й будівельна хімія, дорожні та сигнальні знаки, шумозахисні екрани і бар'єрні огорожі, вимірювальна техніка та мобільні лабораторії. Під дахом павільйону і на майданчику просто неба наживо виставлялась габаритна спецтехніка: екскаватор, ґрунтові та асфальтні катки, асфальтоукладальники і дорожні фрези, регенератори асфальту і заливальники тріщин, снігоприбиральна техніка, бітумні цистерни та багато іншого.

Як місце для спілкування фахівців з усіх регіонів країни «АВТОДОРЕКСПО» є найкращим майданчиком для демонстрації новинок. Серед прем'єр цього року були й унікальні рішення, такі як пересувна лабораторія RMT (ROAD MARKING TESTER) від компанії Ramboll, представлена на виставці наживо. Це єдиний

у світі продукт, здатний аналізувати всі параметри дорожньої розмітки за один прохід. RMT проводить вимірювання кожного сантиметра розмітки на швидкості руху автомобіля до 80 км/год. Ця технологія дає змогу отримувати відео, прив'язки до gps координат, збирати дані про повноту нанесення і рівні зношування розмітки, шорсткості та світловідбиванняу денний і нічний час або в умовах мокрого асфальту.

Всеукраїнською прем'єрою, показаною на виставці «АВТОДОРЕКСПО», став також гусеничний асфальтоукладальник VOLVO P7820D ABG. Ця машина оснащена електронною системою управління укладанням дорожнього покриття і шумозахищеним робочим місцем. Асфальтоукладальники ABG мають потужний двигун, трансмісію і поліпшену гідравлічну систему Volvo, що забезпечує малу витрату пального, низький рівень викидів і шуму. А встановлені тут системи автоматичного натягу гусеничних стрічок, великий бункер і система Soft Dock забезпечать рівне і гладке дорожнє покриття.

Одразу сім одиниць техніки показала компанія «ВІРТГЕН УКРАЇНА»: перевантажувач і гусеничний асфальтоукладальник VOGELE, холодну фрезу і холодний рециклер / стабілізатор ґрунту WIRTGEN, тандемні катки, катки з двома вібраційними вальцями і пневмоколісний каток HAMM. Абсолютна новинка в цьому переліку– перевантажувач VOGELE MT 3000 Offset, призначений для рівномірної подачі великої кількості матеріалу в процесі укладання асфальту, що забезпечує рівну поверхню дорожнього покриття. Поворотний конвеєр машини дозволяє їй працювати на два асфальтоукладальника одночасно або з ж двома видами сумішей.

Турецька компанія MARINI MAKINA показала на майданчику під відкритим небом автогудронатор власного виробництва під маркою Tekfalt. Він має вбудовану систему нагрівання термальної олії, що гарантує точне, безпечне і легке розпилення бітуму і бітумних емульсій. Завдяки системі підігріву на основі циркуляції олії машина не потребує чищення системи, їй не загрожують засмічення і застигання матеріалів у форсунках, бітумних насосах, клапанах і трубопроводах.

Компанія CONSTRUCTION EQUIPMENT DG презентувала мобільні АБЗ від компанії Parker Plant Limited, яка є найпопулярнішим і найбільш масовим виробником мобільних асфальтобетонних заводіву світі. Монтаж на майданчику замовника і запуск заводу в роботу можна здійснити лише за 2-3 дні.

Компанія «ТРІНІТІ-ГРУП» представила обладнання і спецтехніку для ремонту й будівництва доріг від Roadtec Inc., мобільні газові та дизельні снігоплавильні машини та стаціонарні станції від TrecanCombustion, а також системи покриттів і гідроізоляції від RPM BelgiumVandex Group.

Ще один вид актуального для України обладнання представила компанія «ВАГОВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ». Із 2006 року вона виробляє широкий спектр обладнання для зважування, а для дорожньої галузі випускає ваги для великовантажного транспорту і спецтехніки, а також проектує автоматизовані системи обліку.

Знайомитися з новітніми рішеннями в проектуванні та будівництві доріг, відвідувачі «АВТОДОРЕКСПО» могли не лише на стендах компаній-учасниць, але й у конференц-залі. Тут проходила традиційна велика науково-практична конференція за участі представників «Укравтодору» та ДерждорНДІ, науковців і практикуючих експертів, інженерів і технологів приватних виробничих підприємств.

Традиційно серед інформаційних партнерів виставки було представлено науково-виробничий журнал «Автошляховик України».

Щорічно форум «АВТОДОРЕКСПО» збирає на своєму майданчику провідних фахівців дорожньої галузі та вважається головною виставковою подією у своєму сегменті. Сюди приїжджають, щоб дізнатися про новітні технології у будівництві доріг, оцінити стан і перспективи ринку, знайти надійних партнерів і постачальників.

За матеріалами www.avtodorexpo.ua