

УДК 625.7/.8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Ренейська С.В., Палешев О.С.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАРЯЧОГО РЕСАЙКЛІНГУ
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНИХ ТА
АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ**

Анотація. У роботі розглядався метод поліпшення якостей матеріалів, які застосовуються при технології гарячого ресайклінгу способом "на місці", а саме — визначення оптимального вмісту бітуму та спеціальних добавок природного бітуму Selenizza SLN 120 в залежності від зернового складу кам'яного матеріалу.

Об'єкт дослідження – чорний щебінь.

Мета роботи - проведення аналізу ремонту покриття з застосуванням технології гарячого ресайклінгу, та визначення шляху удосконалення технології за рахунок введення в склад суміші добавки природного бітуму Selenizza при приготуванні чорного щебеню як матеріалу для відновлення суміші.

Методи дослідження – експериментальні.

Ключові слова: технологія гарячого ресайклінгу, природній бітум selleniza, бітумоемкість, температура розм'якшення, зчеплення, чорний щебінь, в'язкість.

UDC 625.7/.8

Gameliak I.P. Dr. Tech. Sci., Reneiska S.V., Paleshev O.S.

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF HOT RECYCLING OF
ASPHALT LAYERS IN FLEXIBLE AND AIRFIELD PAVEMENTS**

Abstract. The work was considered a method of improving the quality of the materials used in the technology of hot recycling method "on site" - namely, determination of optimum bitumen content and special additives according to the grain of the stone material.

The object of study – black gravel.

Purpose – the purpose of this study — is the analysis of pavement rehabilitation including application of the hot recycling technology, and identification of a way to improve the technology by introducing a natural bitumen additive Selenizza into the mix, in the course of preparation of black crushed-stone, as a material for rehabilitation of the mix.

Research methods – experimental.

Keywords: hot recycling technology, natural bitumen selleniza, bitumoyemkist, softening temperature, coupling, black gravel, viscosity.

УДК 625.7/.8

Гамеляк И.П., д-р техн. наук, Ренейська С.В., Палешев О.С.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕГО РЕСАЙКЛИНГА
НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНИХ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Аннотация. В работе рассматривался метод улучшения качества материалов, применяемых при технологии горячего ресайкллинга способом "на месте", а именно - определение оптимального содержания битума и специальных добавок природного битума Selenizza SLN 120 в зависимости от зернового состава каменного материала.

Объект исследования – чёрный щебень.

Цель работы – проведение анализа ремонта покрытия с применением технологии горячего

ресайклинга, и определение пути усовершенствования технологии за счет введения в состав смеси добавки природного битума Selenizza при приготовлении черного щебня как материала для восстановления смеси.

Методы исследования – экспериментальные.

Ключевые слова: технология горячего ресайклинга, естественный битум selleniza, битумоёмкость, температура размягчения, сцепление, черный щебень, вязкость.

Вступ

Під час реконструкції автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям ефективним способом ремонту є застосування технології горячого ресайклінгу способом "на місці", оскільки ця технологія є найбільш зручною та економічно вигідною і дає нам змогу повністю змінювати склад будь яких компонентів в суміші.

Аналіз технології

В Україні на даний час більше 90% доріг побудовані з асфальтобетонним покриттям які піддаються значним навантаженням що постійно зростає. Кошти на капітальний ремонт та реконструкцію практично не виділяються, тому більша частина мережі автомобільних доріг потребує ремонту або перебудови.

Пористі і деформовані шари поверхні можуть бути відновлені за допомогою горячого ресайклінгу - процесу, який використовується виключно в формі мобільного будівельного майданчика. Тут вкрай важливе значення має неушкоджена шарувата структура. Гарячий ресайклінг покращує всі важливі властивості поверхні і профілю дороги, а також склад фракцій в поверхневому шарі.

Поверхневий шар нагрівається до температури 150°C розігрівачем з інфрачервоними газовими нагрівальними панелями, після чого реміксер розпушує, видаляє і знову укладає розм'якшений асфальтобетон. Цей метод дозволяє відновити властивості дороги і стік води, а також усунути вибоїни. Потенційна економія коштів достатньо значна.

Плюсом цієї технології є простота у визначенні формули нової суміші. Єдине що потрібно зробити, це взяти кілька кернів для визначення кількості добавки.

Introduction

The hot recycling technology "in situ" is considered to be an efficient method of rehabilitation, applied in the course of reconstruction of asphalt-concrete pavement highways; since this technology is the most convenient and cost-effective, and it enables us to completely change composition of any mix component.

Analysis of the technology

At present more than 90% of Ukrainian roads are asphalt-concrete pavement type roads, which are subject to significant loads, which constantly increase. There are hardly any funds allocated for rehabilitation and reconstruction of these roads, therefore a major part of the highway system requires repair or reconstruction.

Porous and deformed surface layer can be rehabilitated by means of hot recycling – a process which is applied exceptionally in a form of a portable construction site. In this case an undamaged layer structure is of a great importance. The hot recycling improves all the essential properties of road surface and cross-section, as well as fraction composition in the wearing course.

The wearing course is heated to 150 ° C by a heater with infrared gas heating panels, after which a remixer loosens, removes and repaves the loosened asphalt-concrete. This method enables to reinstate the road properties and drainage, and rectify potholes. A potential saving is quite essential.

The advantage of this technology is the simplicity of a new mix formula determination. The only thing that has to be done in this case is collection of several cores for evaluation of an additive quantity.

Мінуси ж у тому, що ця технологія дуже енергоємна, що негативно позначається на собівартості робіт, і через нагрівання бітум ще більше старіє і втрачає свої корисні властивості, але цього можна частково уникнути підібравши правильний склад суміші сучасних матеріалів які запобігають старінню покриття.

Мета роботи

Проведення аналізу ремонту покриття з застосуванням технології гарячого ресайклінгу, та визначення шляху удосконалення технології за рахунок введення в склад суміші добавки природного бітуму Selenizza при приготуванні чорного щебеню як матеріалу для відновлення суміші.

Завдання

- проведення експериментальних досліджень приготування чорного щебеню з додаванням в склад суміші природного бітуму;
- визначення бітумоємності та зчеплення бітуму з мінеральним матеріалом, визначення температури розм'якшення та в'язкості в'язучого
- виконати підбір складу регенованого асфальтобетону модифікованого природнім бітумом Selenizza;
- виконати тепловізійне обстеження приготування та ремонту покриття.

Опис методики випробування

У роботі розглянуто метод гарячої регенерації дорожнього покриття способом на місці основними перевагами якого є повне використання матеріалів старого покриття, короткий термін виконання робіт, заміна складу будь-яких компонентів у складі суміші матеріалу та повне відновлення, по якості, властивостей дороги. Схема робіт цієї технології дуже проста і виконується за три етапи: I етап - виготовляється суміш на асфальтобетонному завод, яка; II етап – суміш транспортується на місце укладання автосамоскидом,; III етап – подача суміші в реміксер який змішує, нагріває, вирівнює та укладає потрібну суміш.

Саме на другому етапі і відбувається найбільша кількість проблем, оскільки при перевезенні матеріал втрачає свої якості за

Its weakness is attributed to the fact that this technology is power-consuming, which affects the prime cost, and due to heating the bitumen deteriorates even more and loses its useful properties, however this can be partially avoided by designing of a correct mix design with modern materials preventing pavement deterioration.

Purpose of the study

The purpose of this study — is the analysis of pavement rehabilitation including application of the hot recycling technology, and identification of a way to improve the technology by introducing a natural bitumen additive Selenizza into the mix, in the course of preparation of black crushed-stone, as a material for rehabilitation of the mix.

Objectives

- undertake experimental studies in terms of preparation of black crushed-stone, with addition of natural bitumen into the mix;
- identify bitumen content and bitumen adhesion to a mineral material, identify a softening point and a binding agent viscosity;
- produce a mix design for regenerated asphalt-concrete modified by the natural bitumen Selenizza;
- undertake a thermovision inspection of pavement preparation and repair process.

Description of the testing methodology

This study presents a method of hot regeneration of road pavement “in situ”, the main advantages of which are whole utilization of the old pavement materials, short period of works execution, revision of composition of any components in the mix and a complete reinstatement of road properties, in terms of quality. The workflow under this technology is very simple and it is implemented in three stages: stage I – production of a mix on an asphalt plant; stage II – transportation of the mix to the paving area by a tipper truck; stage III – feeding of the mix into a remixer, which mixes, heats, regulates and paves the required mix.

Particularly at the second stage occur most of the problems, since in the course of transportation the material loses its properties,

рахунок прилипання до стінок кузова автосамоскиду та сповзання в'язучого з кам'яного матеріалу. Цих проблем можна уникнути визначивши оптимальне відношення компонентів шляхом приготуванні чорного щебню. Обробка щебню органічним в'язучим по гарячій технології включає сушку і нагрівання самого щебню і в'язучого, їх дозування і перемішування в змішувачах.

Для досягнення цілей удосконалення складу матеріалу в лабораторних дослідженнях було виконано компаундування бітуму БНД 90/130 з природнім бітумом Selenica SLN 120. Даний дослід починався з підбору природнього кам'яного матеріалу (щебню) фракціями 5-10, 10-20 та 20-40, так щоб всі частки були приблизно кубічної форми для максимальної упаковки зерен. Матеріал попередньо очищався та висушувався до постійної маси в сушильній шафі. Для цього щебінь був зважений двома способами та у двох станах. Спочатку зважувався у такому стані яким він був взятий "з складу", зважування проходило на повітрі та гідравлічним способом, що дозволяє підвищити точність розрахунку. Потім аналогічно щебінь зважувався у висушеному до постійної маси стані. Для точності розрахунків кожне зерно матеріалу зважували окремо, а потім сумарно по кожній фракції. В подальшому було проведено визначення середнього значення діаметру часток щебню по заданому зерновому складу, ці величини використовувались при обчисленні товщини плівки в'язучого матеріалу.

Далі виконувалось змішування бітуму БНД 90/130 з природнім бітумом у пропорціях додавання природнього бітуму спочатку 10% потім 20, 30, 40 і 50 % зверх маси вихідного бітуму, для визначання оптимального вмісту добавки. Компаундування виконувалось шляхом розплавлення бітуму БНД 90/130 до однорідної маси з додаванням бітуму Selenica SLN 120, у вигляді порошку фр. – 4 мм, до їхнього повного розтавання при періодичному перемішуванні. Після чого суміш бітумів заливалась у ємкість та витримувалась у сушильній шафі при

for it sticks to the tipper truck body, and the binding agent runs off the stone material. These problems can be avoided by means of identification of an optimal proportion of the components by preparation of black crushed-stone. Treatment of aggregate with an organic binding agent, as part of the hot technology, includes drying and heating of the aggregate itself and the binding agent, batching and mixing.

For achieving the goals of improvement of the material composition, compounding of bitumen BND 90/130 with the natural bitumen Selenica SLN 120 was undertaken in the course of laboratory trials. This trial started with selection of natural stone material (crushed-stone) of fractions 5-10, 10-20 and 20-40, ensuring approximate cubic shape of all the particles, for the purpose of maximal compaction of grains. The material was cleaned and dried to a stationary mass in a drying box. For this purpose the aggregate was weighed in two ways and in two conditions. First it was weighed in a condition as taken from the "stock pile", weighing was undertaken in the open air and by a hydraulic method, which enables to enhance accuracy of calculations. After that the aggregate was weighed in a dried to the stationary mass condition. For the purpose of accuracy of calculations every grain was weighed separately, and after that it was weighed by fractions. Later on an average diameter of crushed stone particles was identified on the established granulometric composition; these figures were used while calculating the binding agent film thickness.

Upon that we undertook mixing of the bitumen BND 90/130 and the natural bitumen, at first proportioning the natural bitumen at 10%, and after that at 20, 30, 40 and 50 % over the mass of the original bitumen, for the purpose of identification of an optimal additive content. The compounding was undertaken by means of melting the bitumen BND 90/130 to a homogeneous mass, with addition of the bitumen Selenica SLN 120, in a form of powder fr. – 4 mm, to their complete fusion, with periodic stirring. After this the bituminous mix was poured into a container and kept in a

температурі 120 °С до тих пір поки вона не стала повністю однорідною, коли не видно крупинок природнього бітуму. У залежності від кількості добавки час який потрібний на повне розставання бітуму був різним, тоді коли при вмісті 10% добавки суміш ставала однорідною за 30-40 хв., то при вмісті 50% на це було потрібно 4 год.

Отримавши однорідні маси уже модифікованого бітуму визначали його вязкість та температуру розмякшення. Умовна в'язкість бітуму визначалась на пенетрометрі при температурі 25 °С, а температура розмякшення за методом кільце і куля згідно ДСТУ Б В.2.7-81-98. Результати випробування наведені в табл. 1, залежність проникнення голки пенетрометра та температури розмякшення в залежності від вмісту добавки на рис.1 - 2.

Далі визначення бітумоємкості різних фракцій щебеню, виконали нумерування всіх зразків щебінок, попередньо підвішених на мідні дротики (однакової довжини і маси), для зручності занурювання їх в бітум до повного обволікання. Потім уже всі готові зразки занурювались в бітум, по 10 зразків кожної фракції щебінок в розплавлений модифікований бітум відповідно з різним відсотком добавки. Після занурення всіх зразків вони підвішувались до повного стікання надлишку бітуму та повного висихання. Після чого проводилось зважування зразків з бітумом, тим самим методом у воді та звичайним зважуванням, та розрахунковим методом встановлено яка кількість бітуму в залежності від фракцій щебінок і вмісту добавки залишається на зразку. Кінцевим випробуванням було визначення зчеплення в'язучого з мінеральною частиною чорного щебеню. Для цього кожне зерно опускається в хімічний стакан, який наповнений дистильованою водою і встановлений на електроплиту, доводячи воду до кипіння (але не до бурного), так щоб зразки не торкнулись ні дна ні стінок стакана і витримуємо в стадії кипіння 5 хв. Після цього дістаємо зразок та занурюємо у холодну воду 1 - 2 хв. для того, щоб закріпилась плівка бітуму і проводимо візуальну оцінку.

drying box at the temperature 120 °С, until it became completely homogeneous, and no crumbs of the natural bitumen could be observed. Depending on the quantity of the additive the time required for complete fusion of the bitumen varied, in the case of 10% additive content the mix became homogeneous in 30-40 minutes, and in the case of 50% additive content, it took 4 hours.

Having received homogeneous mass of modified bitumen, we identified its viscosity and softening point. The funnel viscosity of the bitumen was identified by means of a consistency gauge at the temperature 25 °С, and the softening point was identified by means of a ring-and-ball method in accordance with DSTU B V.2.7-81-98. The results of the trial are shown in table 1, the correlation between the consistency gauge penetration and the softening point, depending on the additive content, is shown on pictures 1 - 2.

Upon that was identified bitumen content for various fractions of aggregate, we numbered all the samples of aggregate, pre-hanged them on copper wires (of similar length and weight), for the purpose of convenient dipping into the bitumen until complete coating. After that all the prepared samples were dipped into the bitumen, 10 samples of each fraction were dipped into the melted modified bitumen, with various proportions of the additive. After dipping all the samples were hanged until all the excessive bitumen ran off and the samples dried up. Upon that the samples with bitumen were weighed, by means of the same method in water and ordinary weighing, and by means of a computational method we identified the quantity of bitumen remaining on each sample, depending on a fraction of the aggregate and on the content of the additive. The final testing was identification of the binding agent adhesion to the mineral part of the black crushed-stone. For this purpose every grain was dipped into a cylindrical vessel, which was filled up with distilled water and put on an electric hot plate, the water was brought to the boil (however not vigorous boil), so that the samples did not touch the bottom or the sides of the vessel, and was kept boiling for 5 minutes. Upon that the samples were taken out

У процесі приготування асфальтобетонної суміші чи чорного щебеню кожне мінеральне зерно щебеню, піску, мінерального порошку повинно бути покрито бітумною плівкою. При неповному покритті частинок бітумною плівкою асфальтобетон чи чорний щебень руйнується при роботі у вологому середовищі, в результаті проникнення води через відкриті місця на зернах під бітумну плівку і витіснення її з поверхні. У ході дослідів було виявлено що щебінь менших фракцій покриваються бітумною плівкою швидше ніж великі, але товщина плівки менша.

Підбір складу чорного щебеню

В'язучим матеріалом в складі суміші був прийнятий бітум БНД 90/130 модифікований природною добавкою Selenizza SLN-120. Вміст добавки на 100% бітуму був прийнятий таким чином: перший зразок без добавки; другий зразок - 10% вмісту добавки; третій зразок - 20%; четвертий зразок - 30%; п'ятий зразок - 40%; шостий зразок - 50% вмісту добавки. В якості заповнювача був підібраний щебінь фракціями: 5-10; 10-20; 20-40 мм у співвідношенні для отримання суміші максимальної щільності.

Результати випробувань та їх аналіз

Результати випробувань по визначенню температури розм'якшення та умовної в'язкості бітуму наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати випробувань в'язкості та температури розм'якшення

Вміст добавки SLN-120, зверх 100% бітуму	1-й укол	2-й укол	3-й укол	Середнє значення		Температура розм'якшення
				100 %	>100 %	
%	дмм			дмм	дмм	°C
0	106	92	91	96,3	96,3	49,5
10	76	59	60	65,0	65	54,25
20	53	52	49	51,3	51,3	57,75
30	38	43	42	41,0	41	60,5
40	32	31	34	32,3	32	63
50	33	30	33	32,0	32	65,5

На рисунку 1 та рисунку 2 графічно показано як змінюється в'язкість та температура розм'якшення бітуму в залежності від відсотка вмісту добавки.

and dipped into cold water for 1 - 2 minutes to ensure curing of the bituminous film and carry out a visual assessment.

In the process of preparation of an asphalt-concrete mix or black crushed-stone every mineral grain of crushed stone, sand, mineral filler should be coated with bituminous film. In case the particles are not entirely covered with bituminous film, the asphalt-concrete or the black crushed-stone will deteriorate while performing in humid environment, as the result of penetration of water under the bituminous film through the gaps on the grains, and its displacement from the surface. In the course of the trial it was discovered that smaller fractions of crushed stone get coated with the bituminous film faster than bigger fractions, however the film is not as thick.

Black crushed-stone mix design

The binding agent in the mix was represented by bitumen BND 90/130 modified by the natural additive Selenizza SLN-120. Content of the additive for 100% of bitumen was established as follows: the first sample – no additive; the second sample - 10% additive content; the third sample - 20%; the fourth sample - 30%; the fifth sample - 40%; the sixth sample - 50% additive content. The aggregate was represented by crushed stone of the following fractions: 5-10; 10-20; 20-40 mm in the ratio appropriate for receiving a maximum density mix.

Test results and their analysis

The results of the testing for identification of softening point and funnel viscosity of bitumen are shown in table 1.

Table 1 - Results of viscosity and softening point testing

Content of additive SLN-120, over 100% of bitumen	1 st injection	2 nd injection	3 rd injection	Average		Softening point, RAB
				100 %	>100 %	
%	dmm			dmm	dmm	°C
0	106	92	91	96,3	96,3	49,5
10	76	59	60	65,0	65	54,25
20	53	52	49	51,3	51,3	57,75
30	38	43	42	41,0	41	60,5
40	32	31	34	32,3	32	63
50	33	30	33	32,	32	65,5

Figure 1 and 2 show the change of bitumen viscosity and softening point depending on the

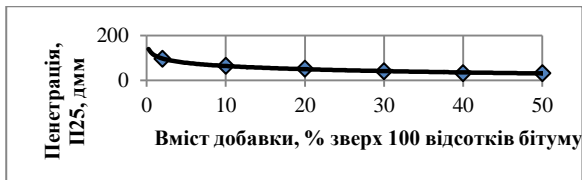


Рисунок 1 – Графік залежності глибини проникнення голки від відсотку вмісту добавки Selenizza-SLN 120 зверх 100% бітуму

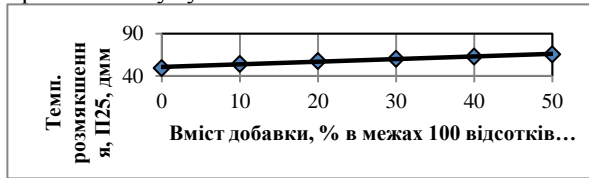


Рисунок 2 – Графік залежності температури розм'якшення від відсотку вмісту добавки Selenizza-SLN 120 зверх 100% бітуму

На основі отриманих експериментальних даних (рис. 3 – 4) встановлена математична модель залежності бітумоємкості різних фракцій щебеню від вмісту добавки природного бітуму Selenizza SLN-120 (в долях одиниці) та площі поверхні часток для вологого кам'яного матеріалу.

Математична модель залежності бітумоємкості різних фракцій щебеню від вмісту добавки природного бітуму Selenizza SLN-120 (в долях одиниці) та площі поверхні часток для промитого кам'яного матеріалу має вигляд:

$$m_b = A_a(S_d) + B_b(S_d) \cdot F_{ch} , \quad (1)$$

$$A_k(S_d) = -0,303617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2 ,$$

$$R^2 = 0,9957, \quad (2)$$

$$B_b(S_d) = 0,004179 + 0,002562 \cdot S_d ,$$

$$R^2 = 0,7578, \quad (3)$$

де D – діаметр часток, мм;

$$F_{ch} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{площа поверхні часток, мм}^2; S_d$$

– вміст добавки

Selenizza SLN-120, % зверх 100% бітуму за

$$\text{масою}; S_d = \frac{S_d \cdot 0,01}{1 + \frac{S_d}{100}}$$

SLN-120, в межах одиниці, в долях.

percentage of the additive content.

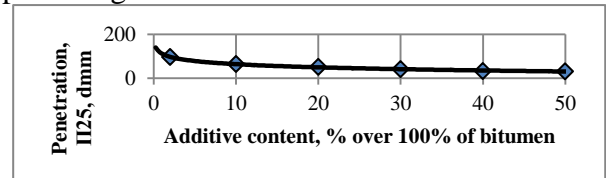


Figure 1 – Dependence Diagram showing correlation between needle penetration depth and Selenizza-SLN 120 additive content percentage over 100% of bitumen

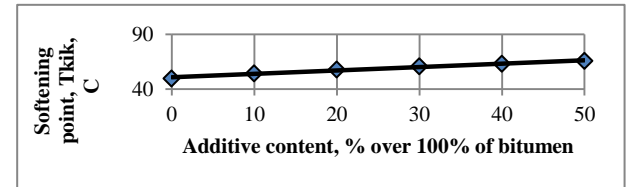


Figure 2 – Dependence Diagram showing correlation between softening point and Selenizza-SLN 120 additive content percentage over 100% of bitumen

Based on the received experimental data (Fig. 3 – 4) we established a mathematical model representing correlation between bitumen content in various fractions of aggregate and content of the natural bitumen Selenizza SLN-120 additive (as a decimal fraction), and the area of particle surface for wet aggregate.

The mathematical model representing correlation between bitumen content in various fractions of aggregate and content of the natural bitumen Selenizza SLN-120 additive (as a decimal fraction), and the area of particle surface for washed aggregate, is as follows:

$$m_b = A_a(S_d) + B_b(S_d) \cdot F_{ch} , \quad (1)$$

$$A_k(S_d) = -0,303617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2 ,$$

$$R^2 = 0,9957, \quad (2)$$

$$B_b(S_d) = 0,004179 + 0,002562 \cdot S_d ,$$

$$R^2 = 0,7578 \quad (3)$$

here D – particle diameter, mm

$$F_{ch} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{particle surface area, mm}^2;$$

S_d – content of the additive Selenizza SLN-120, % over 100% of bitumen by weight;

$$S_d = \frac{S_d \cdot 0,01}{1 + \frac{S_d}{100}}$$

Selenizza SLN-120, as a decimal fraction.

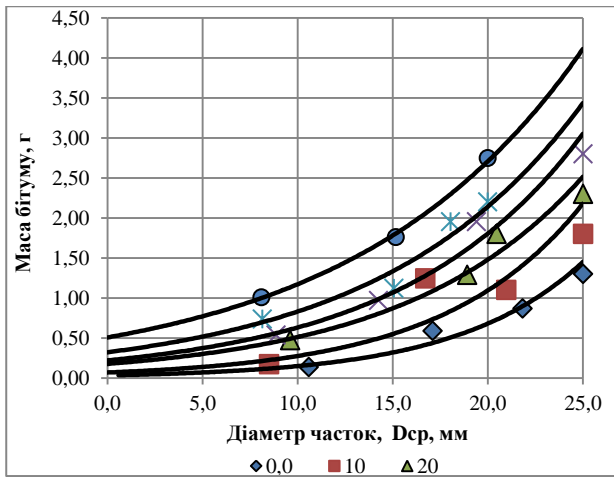


Рисунок 3 – Результати встановлення залежності вмісту бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та середнього діаметру поверхні часток для сухого кам'яного матеріалу

Після підстановки та спрощення отримується залежність для розрахунку додатково утриманої маси бітуму

$$m_b = 0,225 + (-0,303617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2) + (0,004179 + 0,002562 \cdot S_d) \cdot F_{ch}$$

або у вузьких межах зміни вмісту добавки (від 5 до 20%) модель можна спростити

$$m_b = 0,004179 \cdot F_{ch} + 4,61658 \cdot S_d + 0,002562 \cdot F_{ch} \cdot S_d - 0,92765 \quad (5)$$

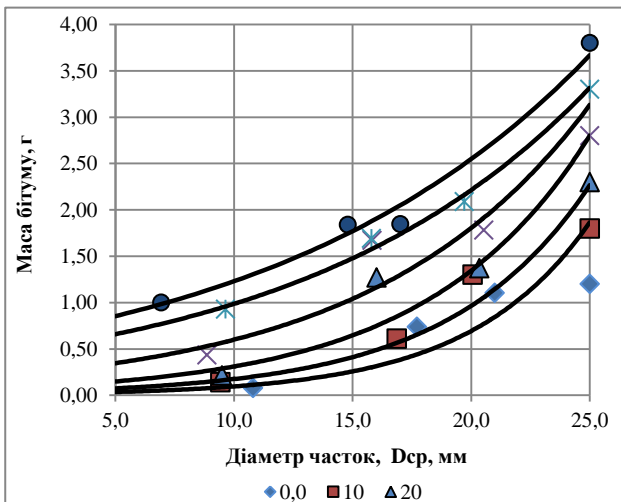


Рисунок 4 – Результати встановлення залежності вмісту бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та середнього діаметру поверхні часток для кам'яного матеріалу після його промивання та висушування

Математична модель залежності вмісту додаткового бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та площі поверхні часток для

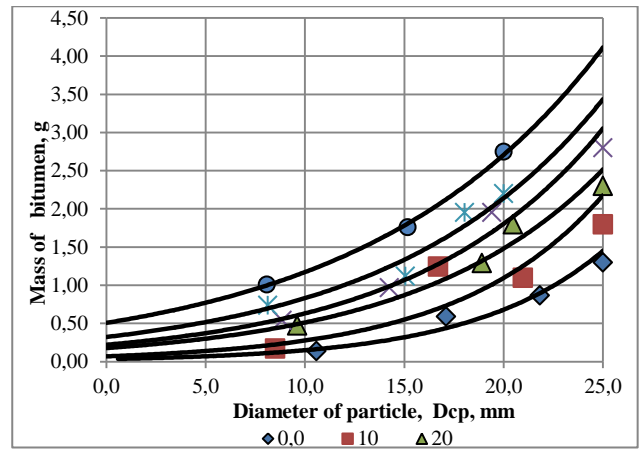


Figure 3 – Results of establishment of correlation between bitumen content and the additive content (as a decimal fraction) and an average diameter of particle surface for dry aggregate

After plugging in and simplification we receive a correlation for calculation of additionally retained mass of bitumen

$$m_b = 0,225 + (-0,303617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2) + (0,004179 + 0,002562 \cdot S_d) \cdot F_{ch}$$

or, within narrow limits of the additive content variation (from 5 to 20%), the model can be simplified

$$m_b = 0,004179 \cdot F_{ch} + 4,61658 \cdot S_d + 0,002562 \cdot F_{ch} \cdot S_d - 0,92765 \quad (5)$$

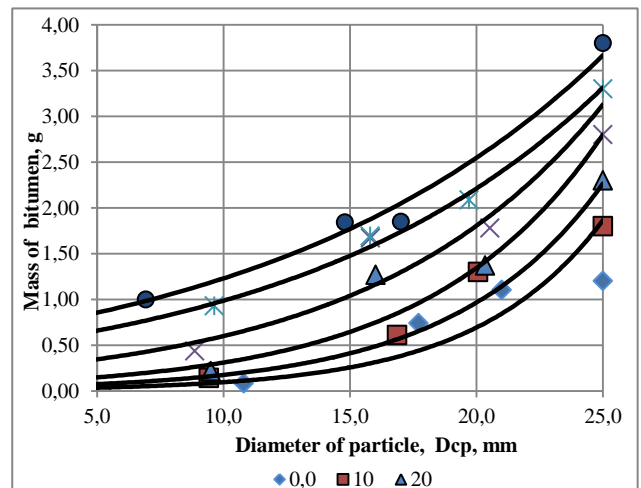


Figure 4 – Results of establishment of correlation between bitumen content and the additive content (as a decimal fraction) and an average diameter of particle surface for washed and dried aggregate

The mathematical model representing correlation between additional bitumen and the additive content (as a decimal fraction), and the

сухого кам'яного матеріалу має вигляд:

$$m_b = (0,001866 \cdot e^{17,984091 \cdot S_d}) + (0,002185 + 0,016899 \cdot S_d) \cdot F_{ch}$$

$$R^2 = 0,933, \quad (6)$$

Результати розрахунків за математичною моделлю залежності вмісту бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та площі поверхні часток наведені на рис. 5. для а) сухого та б) промитого кам'яного матеріалу (в діапазоні від 7 до 50% добавки).

Перевішивши площу в діаметр отримуються математичні моделі залежності маси бітуму від діаметру часток.

- для сухого кам'яного матеріалу

$$m_d = 0,225 + (-0,03617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2) + (0,004179 + 0,002562 \cdot S_d) \times \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

$$(7)$$

для промитого кам'яного матеріалу:

$$m_d = 0,38985 \cdot S_d + 0,003282 \cdot D^2 + 9,5565 \cdot S_d^2 + 0,002012 \cdot D^2 \cdot S_d - 0,07862$$

Порівняння з експериментальними даними вказує на хорошу відповідність озрахункових і фактичних значень вмісту бітуму на поверхні кам'яного матеріалу.

Математична модель розрахункової товщини плівки модифікованого бітуму отримується у вигляді

$$h_b = \frac{m_b}{\rho_s \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}, \quad (8)$$

де залежність щільності модифікованого бітуму від вмісту добавки Selenizza SLN-120 визначається за правилом сумішей

$$\rho_s = \rho_b \cdot (-V_d) + \rho_d \cdot V_d, \quad (9)$$

де $\rho_b = 1,03$ – щільність вихідного бітуму, г/м³;

$\rho_d = 1,16$ – щільність природного бітуму, г/м³.

area of particle surface for dry aggregate is as follows:

$$m_b = (0,001866 \cdot e^{17,984091 \cdot S_d}) + (0,002185 + 0,016899 \cdot S_d) \cdot F_{ch}$$

$$R^2 = 0,933, \quad (6)$$

The results of calculations conducted under the mathematical model representing correlation between bitumen content and the additive content (as a decimal fraction), and the area of particle surface, are shown on Fig. 5. for a) washed and dry b) aggregate (within the range of 7 - 50% of the additive).

Having converted area into diameter we deduced mathematical models representing correlation between bitumen mass and particles' diameter

$$m_d = 0,225 + (-0,03617 + 0,389854 \cdot S_d + 9,556462 \cdot S_d^2) + (0,004179 + 0,002562 \cdot S_d) \times \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

$$(7)$$

For washed aggregate

$$m_d = 0,38985 \cdot S_d + 0,003282 \cdot D^2 + 9,5565 \cdot S_d^2 + 0,002012 \cdot D^2 \cdot S_d - 0,07862$$

Comparison with the experimental data indicates a close agreement of estimated and actual figures representing bitumen content on aggregate surface.

The mathematical model of the estimated modified bitumen film thickness is deduced as follows

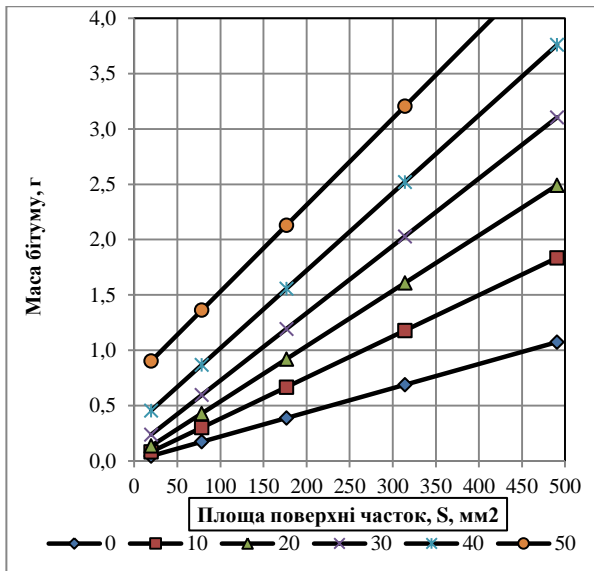
$$h_b = \frac{m_b}{\rho_s \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}, \quad (8)$$

where correlation between density of modified bitumen and content of Selenizza SLN-120 additive is identified by means of the mixture rule

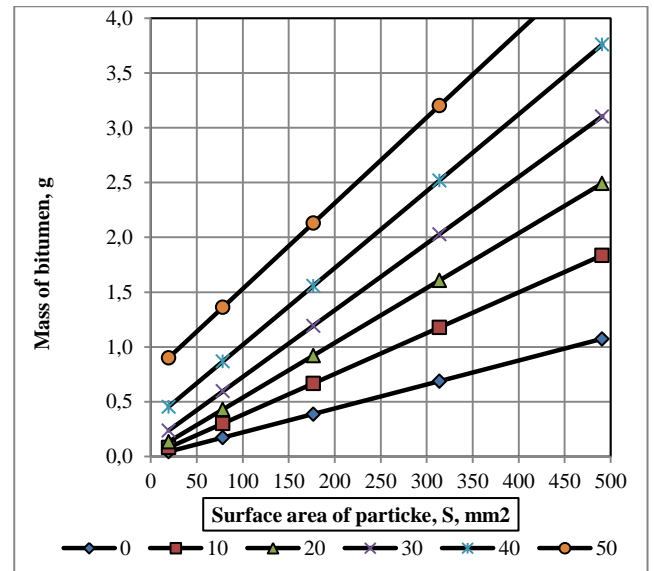
$$\rho_s = \rho_b \cdot (-V_d) + \rho_d \cdot V_d, \quad (9)$$

where $\rho_b = 1,03$ – density of the original bitumen, g/m³;

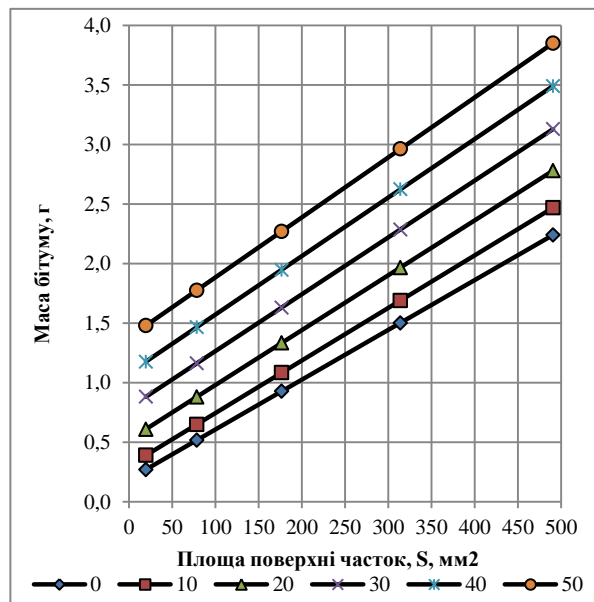
$\rho_d = 1,16$ – density of the natural bitumen, g/m³.



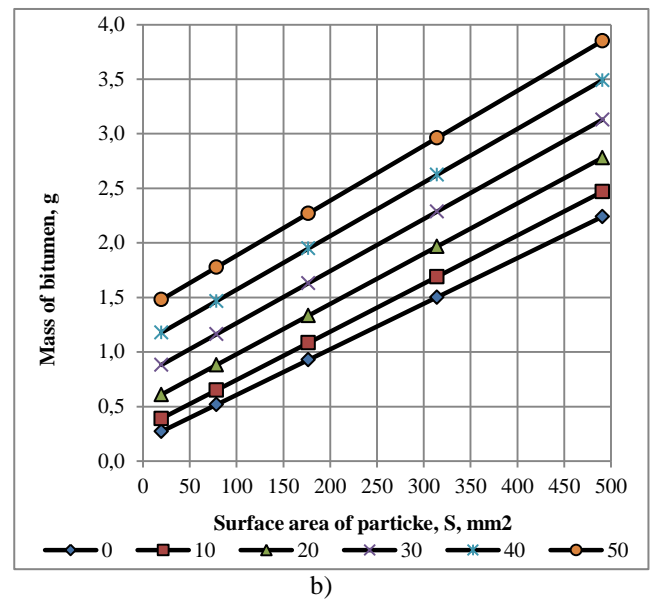
а)



а)



б)



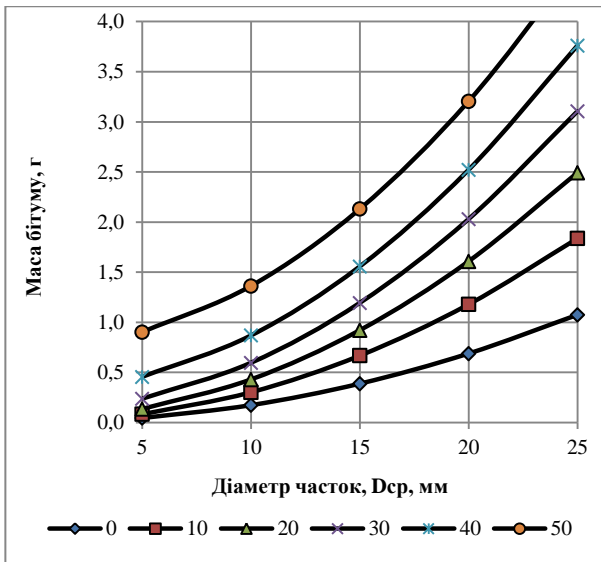
б)

Рисунок 5 – Модель залежності вмісту бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та площі поверхні часток для а) сухого; та б) промитого та кам'яного матеріалу (в діапазоні від 7 до 50% добавки)

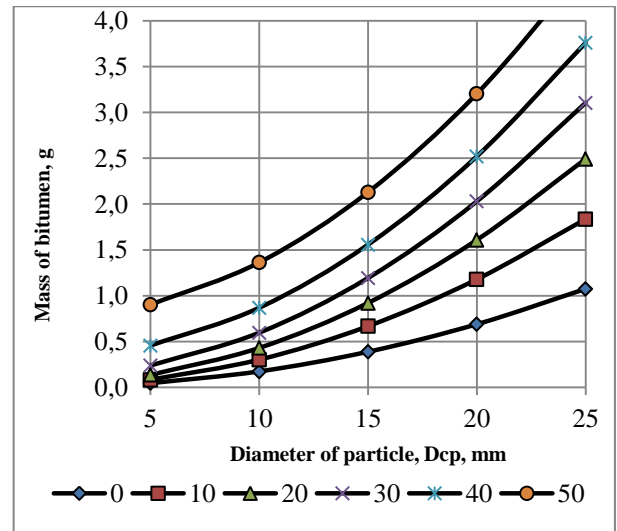
Figure 5 – The model representing correlation between bitumen content and the additive content (as a decimal fraction), and the area of particle surface for a) washed and dry b) aggregate (within the range of 7 - 50% of the additive)

Результати визначення зчеплення в'язучого з мінеральною часткою оцінюються візуально. В ході експерименту було встановлено, що плівка практично на 95 % зберігається, а лише незначно відділилась на гострих кутах зразка який був занурений в бітум модифікований природною добавкою на 30% та фракцією 10-20. Найменше збереглась плівка при модифікації до 10% добавки в усіх зразках.

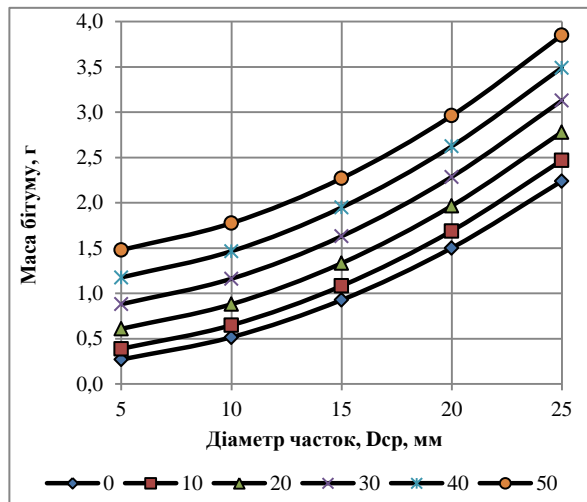
The results of identification of adhesion between the binding agent and the mineral part are assessed visually. In the course of the experiment it was discovered that the film was virtually 95 % preserved, and only insignificantly came off on sharp points of a sample which was dipped into the bitumen modified by the natural additive at 30%, fraction 10-20. The worst preservation of the film occurred in the case of modification at 10% additive proportion, for all the samples.



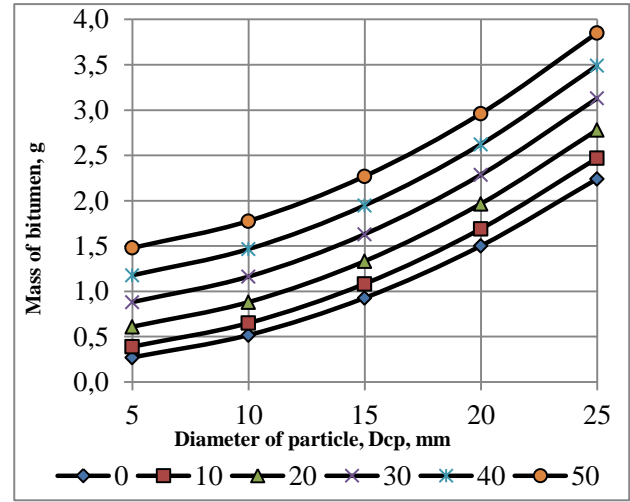
а)



а)



б)



б)

Рисунок 6 – Квадратична модель залежності маси утриманого бітуму від вмісту добавки (в долях одиниці) та діаметру часток для а) сухого кам'яного матеріалу; б) промитого (в діапазоні 0, 10, 20, 30, 40 та 50% добавки на графіках знизу – доверху)

Figure 6 – The quadratic model representing correlation between mass of the retained bitumen and the additive content (as a decimal fraction), and particles' diameter for a) washed and b) dry aggregate (within the range of 0, 10, 20, 30, 40 and 50% of the additive, on the graph from the bottom upwards)

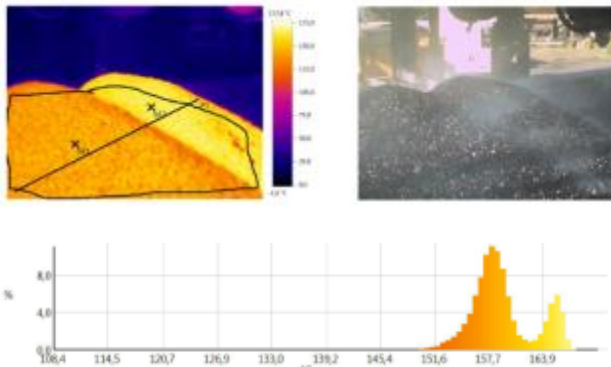
Впровадження

Результати досліджень були впровадженні при приготуванні асфальтобетонних сумішей на основі чорного щебню для будівництва та при ремонті нежорстких покриттів з використанням методу ресайклінгу. В процесі виконання робіт виконано тепловізійний контроль температурних режимів приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування асфальтобетонного покриття. Результати контролю на АБЗ, при транспортуванні суміші та в процесі виконання робіт наведено нижче на рис. 7 - 10.

Implementation

The results of the studies were introduced in the course of preparation of asphalt-concrete mixes, based on black crushed-stone, for construction purposes and for repair of flexible pavements, using recycling method. In the process of the works we undertook a thermovision control of temperature range of asphalt-concrete mixes preparation and construction of asphalt-concrete pavement. The results of the control on asphalt plant, during transportation of the mix and in the process of the works are shown on Fig. 7 – 10 below.

1. Асфальтобетонний завод

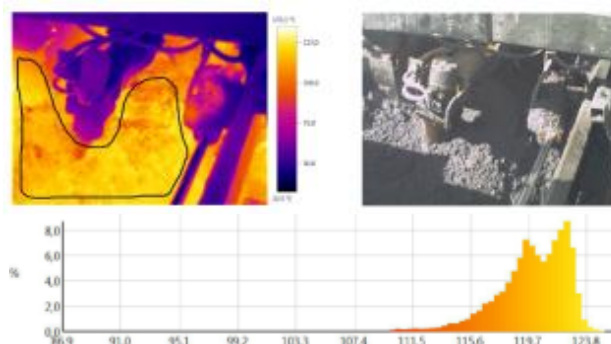


Пряма P1 - температурний профіль остигання суміші в процесі завантаження суміші в кузов автосамоскида в декілька прийомів. Мінімум: 108,4 °С; Максимум: 170,1 °С; Середнє значення 146,5 °С

Рисунок 7 – Зміна температури асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида на асфальтобетонному заводі

В умовах виробництва асфальтобетонної суміші та влаштування асфальтобетонного покриття для досягнення якості покриття важливо витримувати регламентовані температурні режими а саме 170 ± 5 °С.

2. Температура суміші в ресайклері після її транспортування до місця будівництва та введення чорного щебеню

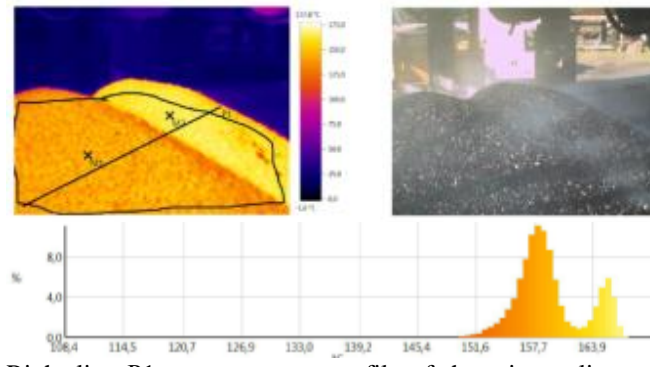


Мінімум: 86,9 °С; Максимум: 127,9 °С; Середнє значення 115,3 °С.

Рисунок 8 – Температура суміші в змішувачі ресайклера введення чорного щебеню.

3. Температура суміші на виході з ресайклера

1. Asphalt plant

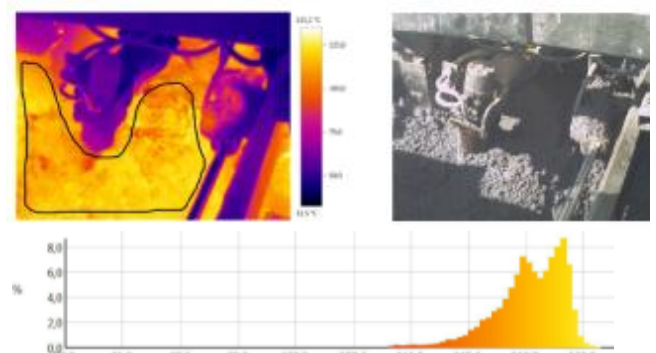


Right line P1 – temperature profile of the mix cooling down in the process of its loading into a tipper truck body in stages. Minimum: 108,4 °С; Maximum: 170,1 °С; Average value 146,5 °С

Figure 7 – Variation of the asphalt-concrete mix temperature in the tipper truck's body on the territory of the asphalt plant

In the conditions of production of asphalt-concrete mix and construction of asphalt-concrete pavement, for the sake of pavement quality, it is critical to keep to the regulatory temperature range, namely 170 ± 5 °С.

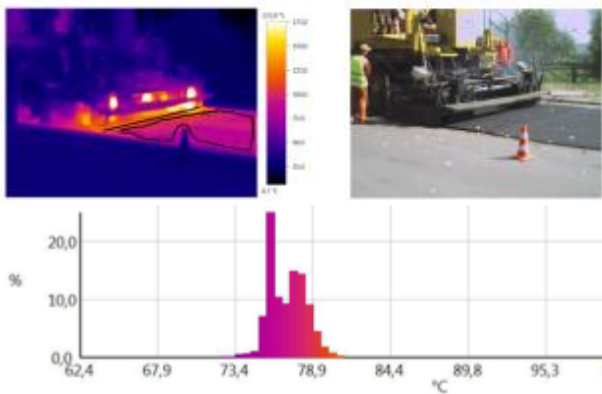
2. Temperature of the mix in the recycler, after its transportation to the construction area and introduction of black crushed-stone



Minimum: 86,9 °С; Maximum: 127,9 °С; Average value 115,3 °С.

Figure 8 – Temperature of the mix in the recycler's mixer, introduction of black crushed-stone.

3. Temperature of the mix as it leaves the recycler

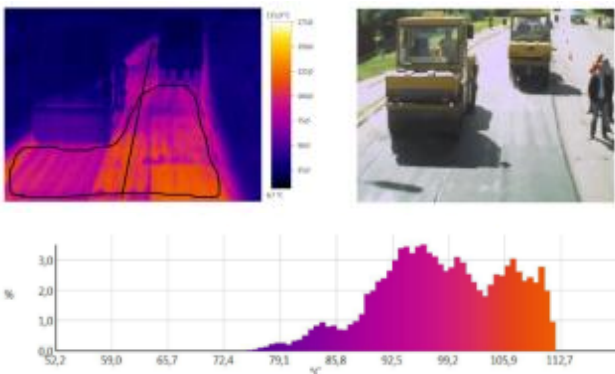


Мінімум: 62,4 °С; Максимум: 117,3 °С; Середнє значення 92,5 °С.

Пряма Р1 – розподіл температури на виході з ресайклера .

Рисунок 9 – Температура відновленого покриття після ресайклера

4. Температура відновленого покриття після ресайклера



Мінімум: 52,2 °С; Максимум: 119,4 °С; Середнє значення 94,8 °С.

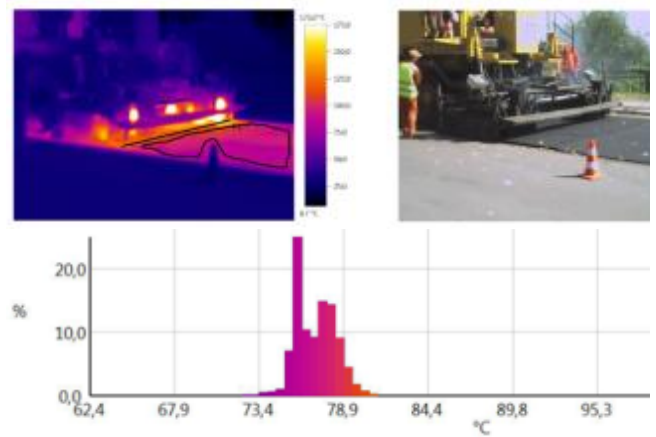
Лінія Р1 - температурний профіль остигання суміші в процесі укочування.

Рисунок 10 – Укочування відновленої суміші ланкою котків

Загальні висновки

Оскільки майже всі дороги України побудовані з асфальтобетонним покриттям, то технологія гарячого ресайклінгу, має велику перспективу застосування. Її удосконалення є актуальним та важливим питанням.

Дане дослідження було направлено саме на визначення оптимального складу суміші чорного щебню, що значною мірою може вплинути на економічну вигідність застосування даної технології, оскільки дає поняття про те як змінюються технічні характеристики вихідного матеріалу в

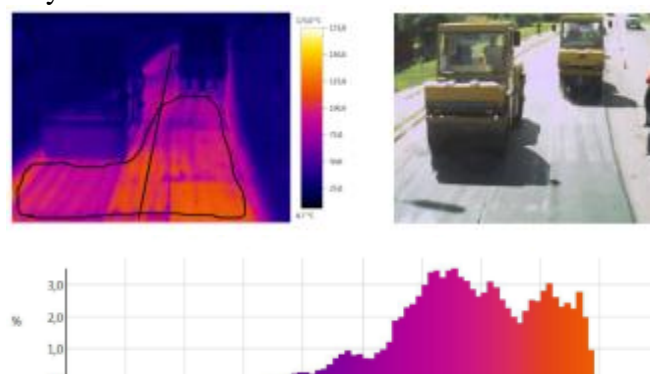


Minimum: 62,4 °С; Maximum: 117,3 °С; Average value 92,5 °С.

Right line P1 – temperature distribution on exit from the recycler.

Figure 9 – Temperature of the regenerated pavement behind the recycler

4. The temperature recovery after covering recyclers



Minimum: 52,2 °С; Maximum: 119,4 °С; Average value 94,8 °С.

Right line P1 – temperature profile of the mix cooling down in the process of compaction.

Figure 10 – Compaction of the regenerated mix by means of a row of compactors

General conclusions

Since almost all Ukrainian roads are constituted of asphalt-concrete pavement, the technology of hot recycling has a wide range of possibilities for application. Its improvement is a topical and an important matter.

This study was designed particularly to identify an optimal composition of the black crushed-stone mix, which can assert a significant influence on the economic benefit from application of this technology, since it suggests how the technical characteristics of the original material vary depending on the content of the

залежності від відсотку вмісту добавок природного бітуму та фракційності заповнювача.

1. Дослідження бітуму модифікованого природною добавкою Selenizza SLN-120 показують що penetрація зменшується за логарифмічним законом і є можливість отримувати бітуми більш в'язких марок, наприклад для отримання бітуму марки БНД 60/90 вміст добавки становить до 10%. Для отримання бітуму марки БНД40/60 потрібно від 10 до 23% вмісту добавки Selenizza SLN-120. Температура розм'якшення бітуму модифікованого природною добавкою Selenizza SLN-120 збільшується за лінійним законом в залежності від відсотку вмісту добавки, та є можливість отримувати бітуми більш стійких до температурних показників. Верхня межа при максимальному відсотку вмісту добавки (50%) досягла значення 66°C.

2. Отримано експериментальні дані та математичні –залежності для розрахунку утриманої маси бітуму на поверхні часток щебеню в залежності від вмісту добавки природного бітуму та площі або діаметру часток для сухого та промитого кам'яного матеріалу різного діаметру (від 5 до 25 мм). Ці залежності дозволяють розрахувати товщини бітумної плівки та розхід в'язучого і добавки для заданих умов будівництва.

3. У процесі приготування асфальтобетонної суміші кожне мінеральне зерно щебеню було покрито бітумною плівкою. В ході досліду було виявлено що щебінки менших фракцій покриваються бітумною плівкою швидше ніж великі, але товщина плівки менша.

4. За результатами тепловізійної зйомки видно, що температура суміші при подачі на АБЗ близька до регламентованої, а саме 170 ±5 °C. При перевезенні до місця укладання температура суміші майже не зменшувалась.

Температура асфальтобетонної суміші в бункері ресайклера та на початку ущільнення відповідала регламенту, але сама конструкція асфальтоукладача має бути удосконалена, оскільки по краях стінок бункера температура зменшується, що негативно впливає на надійність регенованого покриття.

natural bitumen additive and the aggregate fraction.

1. The survey of the bitumen modified by the natural additive Selenizza SLN-120 shows that penetration is reduced logarithmically and there is a possibility to obtain more viscous types of bitumen, say for obtaining of bitumen BND 60/90 the additive content should be up to 10%. For bitumen BND 40/60 it takes from 10 to 23% of Selenizza SLN-120 additive content. The softening point for the bitumen, modified by the natural additive Selenizza SLN-120, is linearly increased depending on the content of the additive; therefore there is a possibility to obtain more heat-resisting types of bitumen. The upper limit at the maximum content of the additive (50%) reaches the value of 66 °C.

2. We have deduced experimental data and mathematical relations for calculation of the retained mass of the bitumen on the aggregate particles surface, depending on the natural bitumen additive content and the area or diameter of particles, for dry and washed aggregate of various diameters (from 5 to 25 mm). These relations enable us to calculate the bituminous film thicknesses and consumption of the binding agent and the additive for specified criteria of construction.

3. In the process of preparation of asphalt-concrete mix every mineral grain was coated with bituminous film. In the course of the trial it was discovered that the smaller fractions of aggregate get coated with the bituminous film quicker than the larger fractions, however the film becomes thinner.

4. The results of the thermovision survey show that the temperature of the mix, while being fed on the asphalt plant, is close to the regulatory one, namely 170 ±5 °C. In the course of transportation to the paving area the temperature of the mix basically did not fall.

The temperature of the asphalt-concrete mix in the hopper of the recycler and at the beginning of compaction was in accordance with the regulations, however it meant that the asphalt paver had had to be modified, since on the sides of the hopper the temperature falls down, which negatively affects reliability of the regenerated pavement.

The critical temperature of compaction is the

Критичною температурою укатки є температура поверхні +85° С. Укочування суміші має бути більш інтенсивним, і його потрібно починати відразу ж після укладання суміші та тримати дистанцію в 35-40 м., з відповідною кількістю проходів по одному сліду.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-81-98 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла і кам'яних матеріалів. Технічні умови.
2. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98) Будівельні матеріали. Матеріали на основі органічних В'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань.
3. Регенерація матеріалів. Стабілізація, гарячі суміші, гарячий ресайклінг: [Перспект фірми Wirtgen]. - 1998. - № 49-12, РУ-11/98.
4. Гамеляк Ігор Павлович. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис... д-ра техн. наук: 05.22.11 / Національний транспортний ун-т. - К., 2005.
5. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу. - Навч. посібник. К.: НТУ. - 2012. - 206 с.
6. Костин В. И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий, Учебное пособие, Нижний Новгород, 2009. - 67 с.
7. Бочаров В.С. Битумосодержащие породы в дорожном строительстве: технология и механизация. - М.: Транспорт, 1987. - 190 с.
8. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон: Учеб. пособие для вузов / И.В. Королев. - К.: Вища шк., 1975.- 155 с.

Рецензенти:

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

surface temperature of +85° C. Compaction of the mix should be more intense, it should start immediately after paving of the mix, keeping the distance at 35-40 m., ensuring a corresponding number of passages along each track.

Literature

1. ISO B V.2.7-81-98 road viscous bitumen. The method of determination of grip glass and stone materials. Specifications
2. B V.2.7-89-99 GOST (GOST 12801-98) Building materials. Materials based on organic binders for road and airfield construction. test methods
3. The regeneration materials. Stabilization, hot mix, hot recycling [Avenue company Wirtgen]. - 1998. - № 49-12, RU-11/98.
4. Gameliak I.P. Basics of pavement construction reliability ensuring. Doctor of technical sciences dissertation: 05.22.11. National Transport University. Kyiv. 2005.
5. Dmitrichenko M.F., Dmitriev M.M., Gamelyak I.P., Raykovskij V.F., Yakimenko J.M. Reliability of pavement construction. National Transport University. Kyiv. 2012. 206 p. Ukraine
6. Kostin V.I. Stone mastic asphalt for road pavement. Nizhniy Novgorod. 2009. 67 p. (RUS)
7. Bocharov V.S. Bituminous formations in highway construction: technology and mechanization. - M.: Transport, 1987. - 190 p.
8. Korolev IV Road warm asphalt: Proc. manual for schools / IV Korolev. -K.: Vishcha wk., 1975. - 155 p.

Стаття надійшла до редакції: **10.10.2016 р.**