

Сєдов А.В., канд. техн. наук, Фоменко О.О.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ В УМОВАХ ВІД'ЄМНИХ ТЕМПЕРАТУР

Анотація. У статті розглянуті особливості технології влаштування асфальтобетонних шарів в умовах від'ємних температур. Наведені результати лабораторних досліджень по визначенню основних теплофізичних характеристик асфальтобетону залежно від його складу; визначенню темпу охолодження асфальтобетону залежно від температури повітря, швидкості вітру і наявності на його поверхні теплоізолятора.

Ключові слова: асфальтобетон, від'ємна температура, теплофізичні характеристики, темп охолодження, теплоізолятор, коефіцієнт теплопровідності, об'ємна теплоємність, темп остигання.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности технологии устройства асфальтобетонных слоев в условиях отрицательных температур. Приведены результаты лабораторных исследований по определению основных теплофизических характеристик асфальтобетона в зависимости от его состава; определению темпа остывания асфальтобетона в зависимости от температуры воздуха, скорости ветра и наличия на его поверхности теплоизолятора.

Ключевые слова: асфальтобетон, отрицательная температура, теплофизические характеристики, темп остывания, теплоизолятор, коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость, темп остывания.

Annotation. The article describes the features of the technology unit of asphalt layers in freezing temperatures. The results of laboratory studies to determine the basic thermal properties of asphalt concrete, depending on its composition, the definition of the rate of cooling of asphalt, depending on air temperature, wind speed and the presence on the surface of insulation.

Key words: asphalt, negative temperature, thermal characteristics, the rate of cooling, heat insulator, the thermal conductivity and volumetric heat capacity, the rate of cooling.

Підвищення ефективності будівництва автомобільних доріг можливо за рахунок продовження будівельного періоду з подальшим переходом на цілорічне дорожнє будівництво. Вузким місцем у цьому питанні є будівництво асфальтобетонних покриттів з гарячих асфальтобетонних сумішей при від'ємних температурах повітря.

За існуючими нормами влаштування таких покриттів повинно здійснюватися при температурі повітря не нижче плюс 5 °С весною і плюс 10 °С восени. Дослідження, що проводяться впродовж ряду років, показують, що влаштування асфальтобетонних покриттів технічно можливо і при від'ємних температурах повітря.

Охолодження асфальтобетонного шару в процесі його укладання і ущільнення по висоті відбувається нерівномірно. При цьому змінюються теплофізичні характеристики матеріалу залежно від його температури і щільності, погіршується ущільнення асфальтобетонних сумішей по мірі зниження температури. Тому в задачі досліджень входило:

- визначити основні теплофізичні характеристики асфальтобетону залежно від його складу;
- визначити темп охолодження асфальтобетону по висоті перетину залежно від температури повітря, швидкості вітру і наявності на його поверхні тепло ізолятора.

Методика випробувань наступна. Формувалися асфальтобетонні зразки розміром 50x50 мм і 70x70 мм. В центрі зразків висвердлювали отвір діаметром 3 мм до їх середини, в яке вводили хромель-копелеву термопару. Отвір засипали гарячою сумішшю і ретельно затрамбовували, а зверху заливали бітумом.

Підготовлені таким чином зразки поміщали в термостат і нагрівали до температури плюс 140 °С, плюс 150 °С. Після чого зразки остигали на повітрі з теплоізолятором і без нього. З метою імітації дії вітру на остигаючий зразок проводили обдування його вентилятором. Швидкість вітру вимірювалася анемометром і складала 3 м/с. Зниження температури в часі в процесі охолодження зразка оцінювалося за допомогою чутливого потенціометра Р-348.

За отриманими в результаті даними обчислювалися теплофізичні характеристики асфальтобетону і середній темп охолодження зразків.

Коефіцієнт теплопровідності

$$a = \frac{h^2 R^2}{\pi^2 R^2 + 2,048^2 h^2} J, \text{ м}^2/\text{год}, \quad (1)$$

де h, R – висота та радіус зразка, м;

Об'ємна теплоємність

$$C = \rho(C_m + C_b \frac{B}{100}), \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \text{град}}, \quad (2)$$

де ρ – середня щільність зразка, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_m – питома теплоємність мінеральної частини асфальтобетону, $\text{ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$;

C_b – питома теплоємність бітуму, $\text{ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$;

B – вміст бітуму в зразку, %.

Коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda = c \cdot a, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}}. \quad (3)$$

Темп остигання

$$J = \frac{t_k - t_g}{a_v \sqrt{h^3}}, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{хвил}, \quad (4)$$

де t_k – температура зразка, яка відповідає допустимому її значенню для закінчення ущільнення, $^\circ\text{C}$;

t_g – температура повітря, $^\circ\text{C}$;

a_v – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру, $1/\text{хвил}\cdot\text{см}^{2/3}$.

Результати експерименту приведені в таблицях 1-4.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі плюс 5 °С і швидкості вітру 3 м/с

| Вид асфальтобетону № випробування | Марка в'язучого та його вміст, % | Щільність, ρ , кг/м ³ | Темп остиган., J , °С/м | Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год | Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---|
| Крупнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №6 | 6,5 | 2240 | 2,34 | 0,186 | 0,17 |
| №7 | 7,5 | 2300 | 2,10 | 0,177 | 0,16 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №11 | 6,0 | 2180 | 2,13 | 0,22 | 0,21 |
| №12 | 7,5 | 2210 | 1,96 | 0,21 | 0,21 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №34 | 7,0 | 2160 | 2,17 | 0,23 | 0,23 |
| №35 | 7,0 | 2180 | 2,13 | 0,22 | 0,22 |
| №36 | 7,0 | 2210 | 2,06 | 0,22 | 0,22 |
| №37 | 7,0 | 2240 | 2,01 | 0,21 | 0,21 |
| Дрібнозернистий | БНД 60/90 | | | | |
| №22 | 6,0 | 2200 | 1,71 | 0,19 | 0,18 |
| №23 | 7,5 | 2240 | 1,53 | 0,17 | 0,17 |
| Дрібнозернистий | БНД 40/60 | | | | |
| №16 | 6,5 | 2320 | 1,64 | 0,18 | 0,18 |
| №17 | 7,5 | 2410 | 1,49 | 0,17 | 0,16 |

Таблиця 2 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі мінус 5 °С швидкості вітру 3 м/с

| Вид асфальтобетону № випробування | Марка в'язучого та його вміст, % | Щільність, ρ , кг/м ³ | Темп остиган., J , °С/м | Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год | Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---|
| Крупнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №6 | 6,5 | 2240 | 2,46 | 0,23 | 0,22 |
| №7 | 7,5 | 2300 | 2,40 | 0,22 | 0,24 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №11 | 6,0 | 2180 | 2,93 | 0,27 | 0,26 |
| №12 | 7,5 | 2210 | 2,76 | 0,26 | 0,25 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| №34 | 7,0 | 2160 | 2,97 | 0,29 | 0,27 |
| №35 | 7,0 | 2180 | 2,87 | 0,27 | 0,26 |
| №36 | 7,0 | 2210 | 2,86 | 0,26 | 0,25 |
| №37 | 7,0 | 2240 | 2,81 | 0,26 | 0,25 |
| Дрібнозернистий | БНД 60/90 | | | | |
| №22 | 6,0 | 2200 | 2,61 | 0,23 | 0,22 |
| №23 | 7,5 | 2240 | 2,33 | 0,21 | 0,21 |
| Дрібнозернистий | БНД 40/60 | | | | |
| №16 | 6,5 | 2320 | 2,44 | 0,22 | 0,22 |
| №17 | 7,5 | 2410 | 2,29 | 0,21 | 0,20 |

Таблиця 3 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі плюс 5 °С і швидкості вітру 3 м/с з відкритою поверхнею та під теплоізолятором

| Вид асфальтобетону № випробування | Марка в'язучого та його вміст, % | Щільність, ρ , кг/м ³ | Темп остиган., J , °С/м | Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год | Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---|
| Крупнозернистий | БНД 60/90 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,0 | 2340 | 2,29 | 0,22 | 0,21 |
| Під брезентом | 6,0 | 2340 | 1,62 | 0,15 | 0,14 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,5 | 2250 | 1,98 | 0,19 | 0,17 |
| Під брезентом | 6,5 | 2250 | 1,32 | 0,12 | 0,13 |
| Дрібнозернистий | БНД 90/130 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,0 | 2250 | 1,82 | 0,17 | 0,16 |
| Під брезентом | 6,0 | 2250 | 1,27 | 0,12 | 0,13 |
| Дрібнозернистий | БНД 40/60 | | | | |
| Відкрита поверхня | 8,5 | 2160 | 2,36 | 0,22 | 0,21 |
| Під брезентом | 8,5 | 2160 | 1,77 | 0,17 | 0,16 |

Таблиця 4 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі мінус 5 °С і швидкості вітру 3 м/с з відкритою поверхнею та під теплоізолятором

| Вид асфальтобетону № випробування | Марка в'язучого та його вміст, % | Щільність, ρ , кг/м ³ | Темп остиган., J , °С/м | Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год | Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---|
| Крупнозернистий | БНД 60/90 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,0 | 2340 | 2,50 | 0,24 | 0,24 |
| Під брезентом | 6,0 | 2340 | 1,88 | 0,17 | 0,18 |
| Дрібнозернистий | БНД 130/200 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,5 | 2250 | 2,45 | 0,22 | 0,23 |
| Під брезентом | 6,5 | 2250 | 1,84 | 0,16 | 0,17 |
| Дрібнозернистий | БНД 90/130 | | | | |
| Відкрита поверхня | 6,0 | 2250 | 2,86 | 0,26 | 0,27 |
| Під брезентом | 6,0 | 2250 | 2,15 | 0,19 | 0,2 |
| Дрібнозернистий | БНД 40/60 | | | | |
| Відкрита поверхня | 8,5 | 2160 | 2,60 | 0,24 | 0,25 |
| Під брезентом | 8,5 | 2160 | 2,14 | 0,21 | 0,22 |

Аналізуючи результати експериментів, можна зробити наступні висновки:

– істотний вплив на теплофізичні характеристики асфальтобетону надає в'язкість бітуму. Так, бетони, які приготовлені на більш в'язких бітумах, мають значення коефіцієнта теплопровідності на 10 % нижче і температуропровідності на 9 % нижче, ніж приготовані на менш в'язких бітумах. Знижується також в цьому випадку і темп охолодження на 12 %;

– збільшення щільності асфальтобетону приводить до зменшення темпу охолодження на 5 %, коефіцієнта температуропровідності в 1,5 рази, а коефіцієнта теплопровідності в 2 рази;

– зміна фракційного складу мінеральної частини асфальтобетону істотного впливу на зміну теплофізичних характеристик не надає;

– при від’ємних температурах показники теплофізичних характеристик асфальтобетону вище, ніж при позитивних. При цьому вплив негативної температури позначається сильніше на характеристиках асфальтобетону, приготованого на менш в’язких бітумах;

– використання теплоізолятора знижує величини теплофізичних характеристик асфальтобетону, як при позитивних температурах повітря, так і при негативних температурах повітря при одній і тій же швидкості вітру. При цьому, ефективність використання теплоізолятора вище при негативних температурах, ніж при позитивних.

Дослідження динаміки охолодження асфальтобетону по висоті шару проводилося на зразках, які були приготовлені з дрібнозернистих сумішей типу А і Б на бітумі марки БНД 90/130 при різному ступені ущільнення. Висота зразків при коефіцієнтах ущільнення 0,8; 0,9; 1,0 складала відповідно 125, 110 і 100 мм

Інтенсивність охолодження зразків з відкритою поверхнею і під теплоізолятором визначалася при температурі повітря плюс 10 °С, плюс 5 °С, 0 °С, мінус 5 °С, мінус 10 °С. З цією метою в зразки в трьох точках по їх висоті закладалися термопари: в 10 мм від верхньої площини зразка, в середині і в 10 мм від нижньої площини зразка.

Результати випробувань охолодження зразків при різних температурах і швидкості вітру 3 м/с наведені в табл. 5

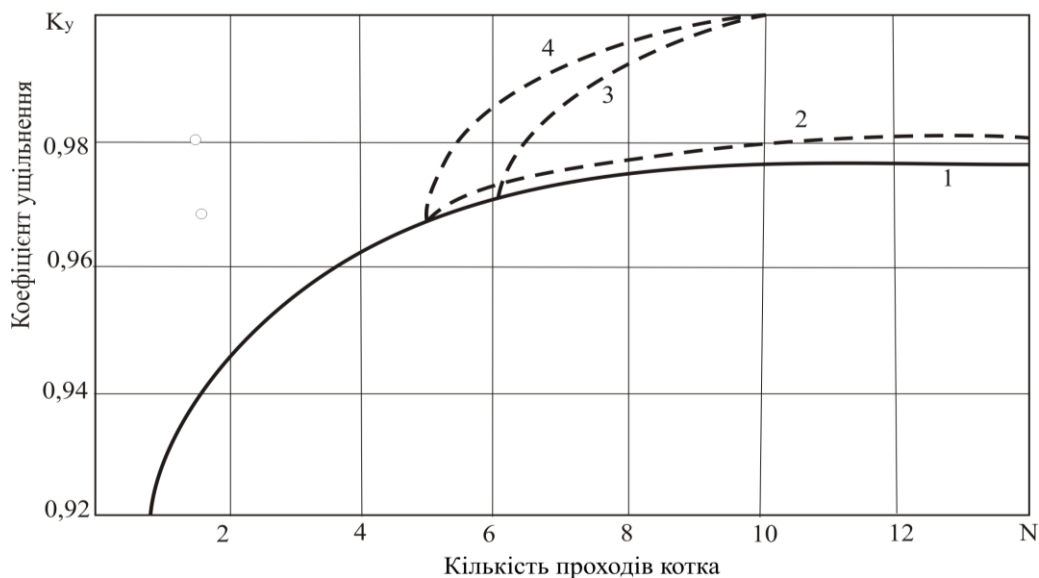
Таблиця 5 – Параметри охолодження асфальтобетону при різних температурах повітря

| Температура повітря, $t_{в}$, °С | Місцезнаходження в зразках | Інтенсивність J , °С/хв., та час остигання зразків, τ , хв. | |
|-----------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
| | | з відкритою поверхнею | під теплоізолятором |
| Плюс 10 | верх | 1,09/80 | 0,8/101 |
| | середина | 1,02/78 | 1,04/62 |
| | низ | 1,43/53 | 1,14/70 |
| Плюс 5 | верх | 1,32/60,6 | 1,01/75 |
| | середина | 1,24/62,1 | 1,25/67,4 |
| | низ | 1,72/53,1 | 1,40/58,3 |
| 0 | верх | 1,67/49,9 | 1,25/65,6 |
| | середина | 1,47/54,9 | 1,36/59,7 |
| | низ | 2,01/40,4 | 1,58/52,1 |
| Мінус 5 | верх | 1,94/42 | 2,53/59,3 |
| | середина | 1,70/44,6 | 2,67/41,2 |
| | низ | 2,29/35,8 | 2,14/37,6 |
| Мінус 10 | верх | 2,17/36,4 | 1,58/51,9 |
| | середина | 2,05/37 | 1,89/44,6 |
| | низ | 2,63/31 | 2,12/34,6 |

Аналіз даних таблиці 5 показує:

- охолодження зразків відбувається нерівномірно по висоті;
- найбільш інтенсивно остигає низ зразка за рахунок впливу температури основи, дещо повільніше верх зразка і відстає в охолодженні від низу і верху середина зразка;
- під теплоізолятором охолодження зразка відбувається повільніше, причому вплив теплоізолятора позначається більш ефективно на уповільненні темпу охолодження верху зразка;
- при позитивних температурах більш інтенсивно остигає верхня частина зразка за рахунок конвективного теплообміну, середня інтенсивність охолодження складає 1,2-1,6 °С/хв.;
- при від’ємних температурах в перші 5-10 хв. найбільш інтенсивно остигає нижня частина зразка за рахунок кондуктивного теплообміну з холодною основою, середня інтенсивність охолодження підвищується при цьому до 1,4-2,3 °С/хв.

Дослідження процесів ущільнення асфальтобетонних покриттів в умовах негативних температур на промислових об’єктах в Харківській області дозволили встановити режими роботи загону котків двох типів: вібраційних, масою 6-8 т і важких гладковальцевих котків. На рисунку 1 наведений графік зміни коефіцієнта ущільнення асфальтобетонних сумішей в процесі їх ущільнення загonom котків двох типів і кількістю проходів котків на кожній з трьох стадій ущільнення.



1 – ущільнення вібракотком масою 6-8 т з вимкненим вібратором;

2 – те ж з включеним вібратором; 3 – ущільнення важким статичним котком

Рисунок 1 – Зміна коефіцієнту ущільнення асфальтобетонного шару при ущільненні його загonom з двох котків

В таблиці 6 наведені параметри охолодження асфальтобетонних сумішей на різних основах.

Таблиця 6 – Параметри охолодження асфальтобетонних сумішей на різних основах

| Товщина шару, см | Вид основи | Температура повітря t_v , °C | Швидкість вітру, V_v , м/с | Інтенсивність остигання, °C /хвил. | | | Час остигання по товщині шару, хвил. | | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------|---------|--------------------------------------|-------------|---------|
| | | | | верх | середини на | низ | верх | середини на | низ |
| 9 | асфальтобетонне | плюс 5 | 8 | 1,09/78 | 1,02/89 | 1,49/56 | 0,83/109 | 0,89/101 | 1,38/59 |
| | щебенеve | | | 1,10/69 | 0,99/74 | 1,59/47 | 0,79/99 | 0,97/79 | 1,50/51 |
| | цементобетонне | | | 1,18/58 | 0,99/68 | 2,1/36 | 0,76/87 | 0,87/75 | 1,90/39 |
| 9 | асфальтобетонне | мінус 10 | 8 | 1,49/61 | 1,30/72 | 1,90/42 | 0,92/97 | 0,97/86 | 1,71/84 |
| | щебенеve | | | 1,49/53 | 1,27/60 | 2,30/36 | 0,99/89 | 1,51/71 | 1,93/43 |
| | цементобетонне | | | 1,57/42 | 1,35/55 | 1,99/33 | 0,91/79 | 1,24/66 | 1,81/41 |

На основі дослідження технології будівництва асфальтобетонних шарів в умовах від'ємних температур повітря можна зробити наступні **висновки**:

– будівництво асфальтобетонних покриттів з гарячих асфальтобетонних сумішей в умовах негативних температур технічно можливо без зниження якості робіт;

– для досягнення необхідної щільності асфальтобетонних шарів в зимовий період необхідно підтримувати нормальний температурний режим гарячих сумішей в процесі їх укладання і ущільнення за рахунок підігріву основи і використання теплоізолятора на поверхні шару, що укладається;

– інтенсивність охолодження низу залежить від температури і матеріалу основи, верху шару – від швидкості вітру, температури повітря, наявності теплоізолятора;

– експериментальні дослідження охолодження асфальтобетонного шару в лабораторних умовах і на дорозі показали задовільну збіжність отриманих результатів;

– використання теплоізолятора дозволяє почати ущільнення гарячих сумішей при відносно більш високих температурах без зсувів матеріалу і утворення тріщин. Як теплоізолятор рекомендується застосовувати міцний брезент, який окрім теплозахисних функцій виконує роль розподільника напруг, що виникають в шарі при дії вальця котка.