



## CHAPTER 9 / РОЗДІЛ 9

### TECHNOLOGICAL ASPECTS OF COMPACTION OF ASPHALT PAVEMENT IN THE AREA OF THE LONGITUDINAL JOINT OF GRIPS DURING THE OVERHAUL REPAIR OF THE ROAD

Тріщини на дорожньому покритті є найпоширенішим дефектом, що зустрічається на дорогах всіх технічних категорій (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Поздовжня тріщина**

За характером утворення їх поділяють на:

– технологічні – ті, що утворюються через застосування неякісних матеріалів та сумішей, а також порушення технологічних режимів виконання робіт;

– експлуатаційні, що утворюються в результаті виникнення розтягуючих напруг від зовнішніх силових факторів (температурні коливання, динамічні навантаження, вода, ґрунтові умови).

За характером утворення існує 3 види тріщин:

– температурні, виникають внаслідок охолодження та опору покриття температурним деформаціям. Їх розвиток по вертикалі йде зверху-вниз (від покриття до основи);



– втомні, утворюються в результаті вигину монолітного шару під дією транспортних навантажень, що багато разів повторюються. Розвиток їх йде знизу вгору, від низу шару покриття до його поверхні;

– відбиті, які копіюють шви/тріщини нижчих шарів основи/покриття.

За розташуванням на поверхні покриття тріщини ділять на поперечні, поздовжні та діагональні.

Руйнування, які виникають в процесі експлуатації асфальтобетонних покриттів пов'язані, як правило, не тільки з якістю асфальтобетонної суміші, але і, в першу чергу, з порушеннями технологій влаштування покриттів. До них належить проблема виконання надійного сполучення суміжних смуг покриття, яке влаштовується.

При виконанні ремонтних робіт та реконструкції дорожніх одягів, при невеликих обсягах робіт з влаштування смуг покриття нежорсткого типу, а також за недостатньої потужності асфальтобетонного заводу укладання гарячої суміші в межах захватки виконують одним асфальтоукладачем (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Влаштування покриття одним асфальтоукладачем**

У цьому випадку за захватку приймають довжину смуги, що укладається, яка дорівнює змінній продуктивності асфальтоукладача. Швидкість укладання



гарячої суміші асфальтоукладачем визначається умовами виконання робіт і у сучасних машин знаходиться в межах від 0,8 м/хв до 21,64 м/хв. З урахуванням безперервності будівництва, для забезпечення необхідних якостей покриття, необхідно, щоб довжина шару, що укладається, дорівнювала довжині захватки для всіх ущільнюючих машин в заданому температурному інтервалі асфальтобетонного шару покриття.

Смуга сполучення влаштовується через порівняно тривалий час, в межах якого температура укладеної суміші першої смуги знижується, і на момент укладання сполученої смуги дорівнює температурі повітря або трохи вище. Ширина смуги асфальтобетонної суміші, що укладається, приймається рівною ширині смуги руху транспортних засобів. За такої технології влаштування покриття забезпечується рух транспортного потоку під час виконання робіт і не потрібні тимчасові дороги.

До недоліків слід віднести утворення при влаштуванні покриття поздовжнього шва на стику сполучених смуг.

Встановлення закономірності впливу виробничих факторів на тривалість укладання гарячих асфальтобетонних сумішей дозволяє обґрунтувати технологічні режими роботи асфальтоукладача залежно від умов виконання робіт.

Залежність часу укладання гарячої суміші дозволяє визначати довжину смуги укладання з урахуванням температурних рекомендованих інтервалів суміші при заданій швидкості асфальтоукладача, або при встановленій довжині захватки визначати швидкість укладання суміші в покриття. Відповідно до рекомендацій для забезпечення сполучення суміжних смуг довжина захватки залежить від температури повітря (таблиця 1).

Практика показує, що в процесі експлуатації в зоні швів сполучення можливе утворення швидко прогресуючих дефектів покриття. Первинні дефекти у вигляді тонких розгалужених тріщин утворюються протягом 5-6 місяців експлуатації.



**Таблиця 1 – Вплив температури повітря на довжину смуги покриття, що укладається**

Температура повітря, °С	Довжина смуги, що укладається, м, при кількості асфальтоукладачів		
	одного		двох
	на захищених від вітру ділянках	на відкритих ділянках	
5-10	30-40	25-30	60-70
10-15	40-60	30-50	70-80
15-20	60-80	50-70	80-100
20-25	80-100	70-80	100-150
Понад 25	100-150	80-100	150-200

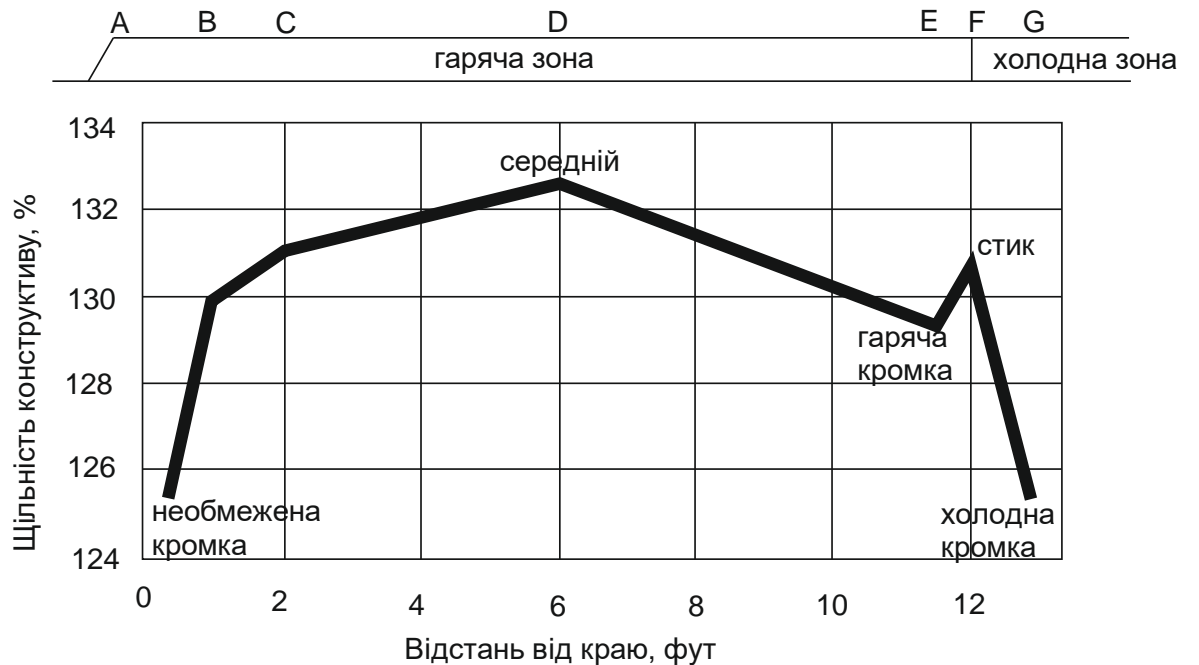
В осінньо-зимовий період, в результаті численних циклів заморозування-відтавання починається лущення покриття в зоні швів сполучення (рисунок 3). Впливи транспортного навантаження та природно-кліматичних факторів сприяють розвитку дефектів покриття. В результаті, вже після 2-3 років експлуатації, на більшості покриттів автомобільних доріг утворюються так звані «технологічні» поздовжні тріщини, а потім вибоїни.



**Рисунок 3 – Руйнування покриття в зоні технологічної тріщини**



Дослідження [1, 2], які проведені у США та Європі, показують, що основними причинами виникнення дефектів є недостатня щільність та надмірна пористість асфальтобетону у зоні швів сполучення. Так, у роботах [1, 2] зазначається, що навіть при проведенні спеціальних заходів щодо підвищення надійності швів сполучення, щільність асфальтобетону на таких ділянках нижча, ніж в основному покритті (рисунок 4).



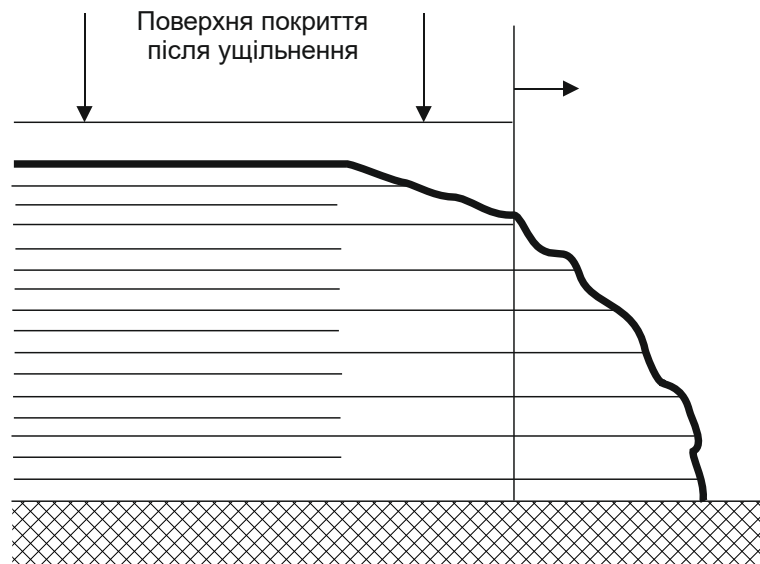
A – необмежена кромка; D – вісь покриття; E – обмежена кромка; F – шов сполучення

**Рисунок 4 – Залежність щільності асфальтобетону від розташування в покритті**

Джерело: [1]

За даними [1], мінімальні значення щільності для всіх конструкцій спостерігалися з боку необмеженої кромки смуги покриття, що влаштовується, і безпосередньо в шві (рисунок 5).

Проте дослідженнями, проведеними в Кентукському Університеті [3], було доведено, що шви сполучення з високою щільністю асфальтобетону не завжди виявляли високий рівень довгострокової надійності.



**Рисунок 5 – Схема зміни щільності асфальтобетону в необмеженій кромці після ущільнення**

Джерело: [1]

З узагальненого досвіду досліджень було зроблено висновок, що у початковий період виникнення дефектів основну роль грає величина залишкової пористості і водонасичення, тоді як інтенсивність руйнувань визначається коефіцієнтом ущільнення.

Очевидно, довгострокова експлуатаційна надійність швів сполучення суміжних смуг асфальтобетонного покриття, що влаштовується, і, певною мірою, самого покриття може бути досягнута при мінімальній різниці величин залишкової пористості і коефіцієнта ущільнення асфальтобетону в шві і в основному покритті. Досягти однорідності цих показників у різних точках покриття досить складно. Це пов'язано в першу чергу з температурною та гранулометричною сегрегацією асфальтобетонної суміші [4] у процесі її виготовлення, транспортування та укладання.

Найчастіше, при вивантаженні суміші в кузов транспортного засобу, великий кам'яний матеріал розміщується біля борту зверху, тому в процесі транспортування остигає швидше, а при вивантаженні в асфальтоукладач виявляється біля борту бункера і зверху суміші, що вивантажується, де продовжує інтенсивно охолоджуватися (рисунок 6).



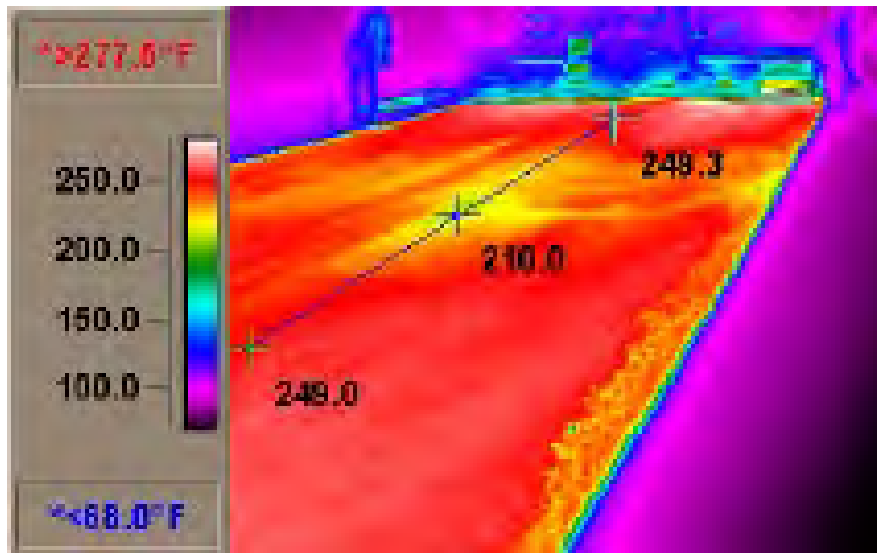


**Рисунок 6 – Гранулометрична сегрегація суміші при розвантаженні**

*Джерело: [6]*

В результаті, під плитою укладача виявляються зони асфальтобетонної суміші з високою температурною та гранулометричною сегрегацією. При укладанні гарячої асфальтобетонної суміші на основу відбувається зниження її температури в часі за рахунок віддачі тепла в навколишнє середовище і шар, що розташований нижче, за рахунок коефіцієнта теплопередачі матеріалу. Найбільш інтенсивно охолодження гарячої суміші відбувається відразу після укладання протягом декількох хвилин, що сприяє, в залежності від прийнятої технології будівництва покриття та конкретних умов виконання робіт, порушенню температурних режимів суміші на стику суміжних смуг при ущільненні.

Найбільш холодні та збагачені великим щебнем ділянки, що виявляються в зоні швів сполучення (рисунок 7). Такі ділянки ущільнюються гірше та характеризуються нижчою щільністю та підвищеною пористістю порівняно з асфальтобетоном основної частини покриття.



**Рисунок 7 – Температурна сегрегація суміші під час укладання**

*Джерело: [6]*

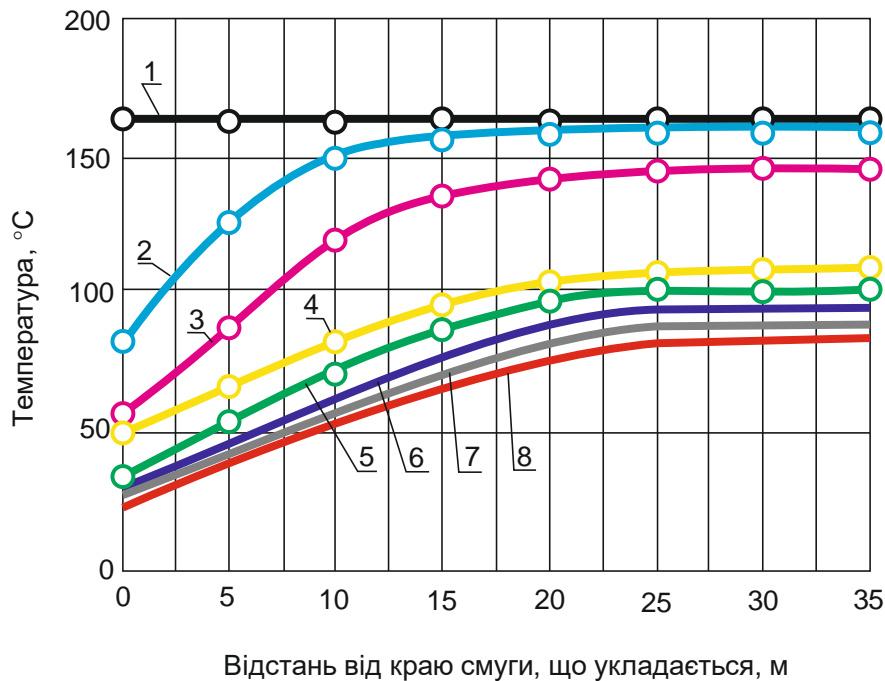
Найбільш ефективним методом запобігання руйнуванню швів сполучення є укладання суміші на всю ширину проїзної частини ланкою з декількох асфальтоукладальників. Але навіть у цьому випадку температура суміші в зоні шва сполучення виявляється на 20-30 °С нижче температури суміжних смуг. Крім того, влаштування покриття на всю ширину, найчастіше, є скрутним, а у разі проведення ремонтних робіт – неможливим.

Якість будівництва дорожніх покриттів нежорсткого типу значною мірою залежить від забезпечення температурних режимів при укладанні та ущільненні гарячих асфальтобетонних сумішей. Для забезпечення необхідних характеристик асфальтобетону по ширині покриття необхідно забезпечити температурні режими асфальтобетонної гарячої суміші в зоні сполучення смуг. Порушення цієї умови не дозволяє досягти необхідних параметрів ущільнення (коефіцієнт ущільнення, водонепроникність, щільність), що в процесі експлуатації дороги сприяє утворенню дефектів у вигляді тріщин, вибоїн. Встановлено, що розподіл температури шириною смуги покриття нерівномірний.





У крайніх точках смуги покриття охолодження суміші відбувається інтенсивніше, ніж у центрі. Ширина смуги охолодження сягає від 10 см до 12 см (рисунок 8).



1 – після укладання; 2 – через 5 хв; 3 – 10 хв; 4 – 15 хв; 5 – 20 хв; 6 – 25 хв; 7 – 30 хв;  
8 – 35 хв

### Рисунок 8 – Зміна температури гарячої суміші по ширині смуги

Авторська розробка

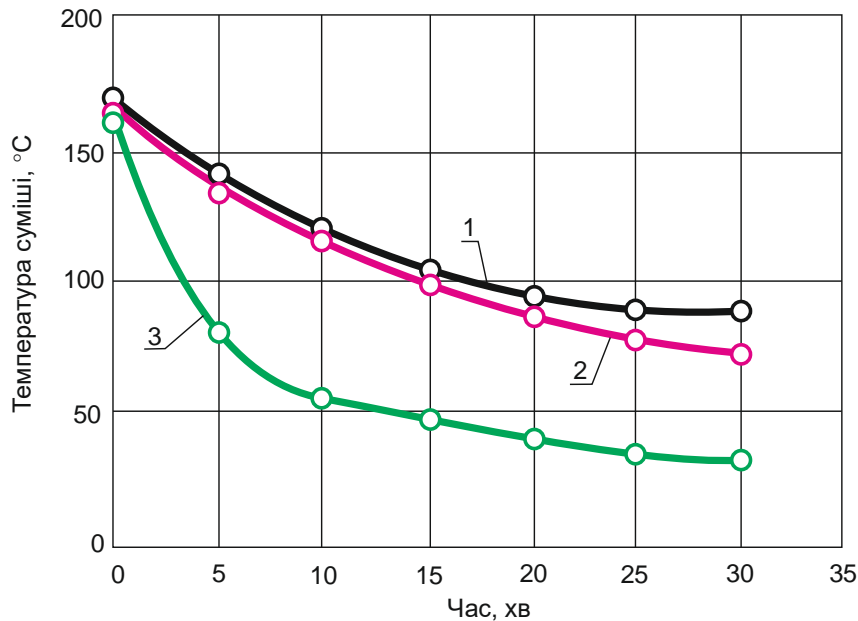
Зона з температурою суміші, при якій процес ущільнення не відповідає температурним режимам гарячої суміші, досягає від 0,03 м до 0,1 м залежно від температури суміші при укладанні сполученого шару. У ході експлуатації ця ділянка в більшості випадків руйнується, а якщо стик схильний до великої кількості навантажень, то ремонт даної ділянки необхідно проводити після декількох років експлуатації.

На рисунку 9 представлено розподіл температури асфальтобетону по ширині смуги покриття у часі.

Температура суміші на стику смуг залежить від конкретних умов виконання робіт (погодні умови, конструкції дорожнього одягу, умови роботи тощо). Тому для забезпечення температурних режимів гарячої суміші передбачається здійснювати додаткове нагрівання краю влаштованій раніше смуги за рахунок



температури шару гарячої суміші суміжної смуги покриття. З цією метою при укладанні сполученої смуги покриття гарячу суміш нової лінії накладають на укладений раніше шар першої лінії. За рахунок теплопередачі від верхнього шару гарячої суміші відбувається нагрівання раніше покладеного шару суміші.



1 – по осі смуги; 2 – на відстані 0,2 м від краю смуги; 3 – на стику сполучених смуг

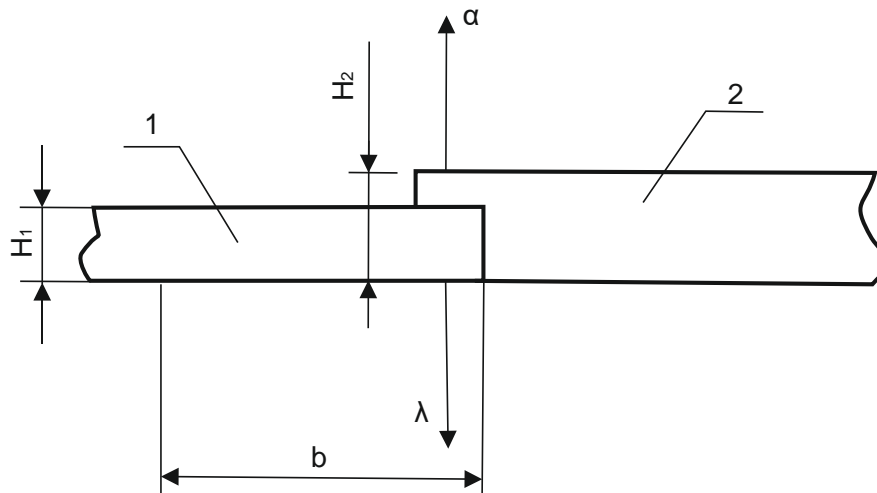
**Рисунок 9 – Зміна температури гарячої суміші у часі**

*Авторська розробка*

При такій технології, кромку раніше покладеної смуги обрубують у вертикальній площині по висоті шару, обмазують в'язким і зверху укладають гарячу суміш шириною від 10 см до 20 см. Після розігріву кромки смуги суміш зрушують на смугу, що укладається (рисунок 10).

Температура асфальтобетонної суміші, покладеної у першу смугу дорожнього покриття, нагрівається за рахунок теплопередачі від гарячої суміші другої смуги. Інтенсивність нагріву, а також температура нижнього шару суміші залежить від температури і товщини верхнього шару, що накладається, температури навколишнього повітря, температури суміші першої смуги, товщини укладеного раніше шару смуги, швидкості вітру і теплофізичних властивостей суміші і загальному вигляді може бути представлена виразом (1):

$$t_{\text{нагр}} = f(t_{\text{сум}}; t_{\text{пов}}; h_{\text{шару}}; h_{\text{од}}; t_{\text{осн}}; v_{\text{в}}; \tau_{\text{нагр}}), \quad (1)$$



1 – асфальтобетонна суміш, укладена в першу смугу дорожнього покриття;  
 2 – асфальтобетонна суміш сполученої смуги дорожнього покриття;  $H_i$  – товщина шару асфальтобетонної суміші, м;  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопередачі асфальтобетонної суміші;  
 $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, чисельне значення якого залежить від швидкості переміщення повітряних мас

**Рисунок 10 – Модель передачі тепла від шару гарячої суміші раніше укладеному асфальтобетонному шару у смузі покриття**

де  $t_{\text{сум}}$  – температура гарячої суміші при укладанні в дорожнє покриття;

$t_{\text{пов}}$  – температура повітря;

$h_{\text{шару}}$  – товщина шару гарячої суміші при розподілі по краю першої смуги;

$h_{\text{од}}$  – товщина шару першої смуги покриття;

$t_{\text{осн}}$  – температура краю першої смуги покриття;

$v_{\text{в}}$  – швидкість вітру, м/с;

$\tau_{\text{нагр}}$  – час нагрівання краю смуги до максимальної температури суміші, хв.

У таблицях 2 та 3 представлені результати моделювання теплових процесів при різній відносній товщині шарів покриття та температури суміші.

Відомо, що темп охолодження гарячої асфальтобетонної суміші залежить від температури навколишнього повітря. На основі аналізу даних впливу температури повітря на температурні режими в діапазоні від 5 °С до 40 °С, отримані значення температури нагрівання краю смуги покриття під шаром гарячої суміші при відносній товщині шарів, що дорівнює одиниці.



**Таблиця 2 – Вплив товщини шару гарячої суміші, що накладається, на температуру нагрівання нижнього шару покриття (при відносній товщині шарів 0,4 і температурі повітря плюс 20 °С)**

Температура суміші, °С	180	160	150	140	120	100
Температура суміші по осі сполученої смуги, °С	129	121	109	104	85	79
Температура поверхні смуги, що нагрівається, °С	79	71	68	64	57	49
Час досягнення максимальної температури шару, хвилин	16-23	14-27	16-22	15-25	18-20	13-27
Температура нагріву нижньої частини смуги, °С	21-25	21-26	21-23	21-24	20-21	19-22

*Авторська розробка*

**Таблиця 3 – Вплив товщини шару гарячої суміші, що накладається, на температуру нагрівання нижнього шару покриття (при відносній товщині шарів 1,0 і температурі повітря плюс 20 °С)**

Температура, °С.	100	120	140	160	180	$\Sigma/n$
Відносна товщина ( $h_2 / h_1$ )						
0,4	1,256	1,295	1,333	1,339	1,362	1,317
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,5	0,907	0,966	0,955	0,959	0,963	0,950
2,0	0,942	0,950	0,910	0,922	0,929	0,93

*Авторська розробка*

Приймаючи значення температури нагріву нижнього шару покриття при температурі повітря 20 °С за одиницю, встановлено значення коефіцієнта впливу температури повітря на процес нагріву раніше укладеної смуги асфальтобетонної суміші при укладанні на неї гарячої суміші, що має вигляд (2):

$$K_t = 0,862e^{0,007t_n}, \quad (2)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт впливу температури повітря на нагрівання краю смуги дорожнього покриття, безрозмірна величина. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,99.



Відомо, що в залежності від часу укладання сполученої смуги покриття, температура суміші раніше покладеної смуги буде мати різне значення. З даних таблиці 4 видно, що з підвищенням температури суміші краю смуги, нагрівання за рахунок гарячої суміші досягає вищої температури.

**Таблиця 4 – Вплив температури краю смуги на нагрівання від шару гарячої суміші (температура суміші при укладанні 160 °С; температура повітря 20 °С)**

Температура краю смуги, °С	5	10	20	40	60	80
Температура суміші по осі сполученої смуги, °С	104	108	121	125	131	136
Температура нагрівання поверхні першої смуги, °С	63	65	71	83	95	107
Час досягнення максимальної температури шару, що нагрівається, хвилин	13	14	18	25	32	39
Температура нагріву нижньої частини смуги, °С	19	19	14-27	13-20	11	9

*Авторська розробка*

За результатами моделювання встановлено зв'язок між температурою гарячої суміші (рисунок 11) при розподілі по раніше укладеній смугі покриття та температурі нагрівання краю смуги, яка має вигляд (3):

$$t_{\text{нагр}} = 27,73e^{0,005t_{\text{см}}} \text{ °С}, \quad (3)$$

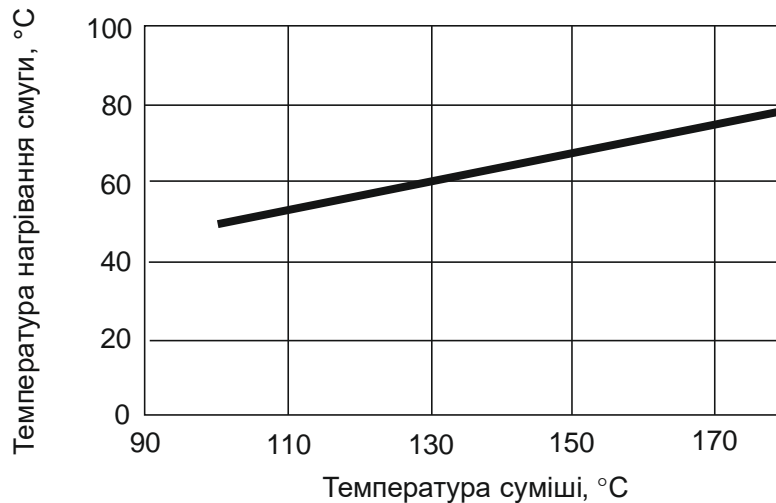
де  $t_{\text{см}}$  – температура гарячої суміші другої смуги дорожнього покриття, °С.

Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,95.

Встановлено, що швидкість вітру незначно впливає на нагрівання краю раніше покладеної смуги.

Загалом залежність для визначення нагріву краю смуги за рахунок температури гарячої суміші сполученої смуги при будівництві покриттів має вигляд (4):

$$t_{\text{нагр}} = 20,63K_{\text{н}}e^{0,005t_{\text{см}} + 0,007t_{\text{в}} + 0,007t_{\text{осн}}} \text{ °С}. \quad (4)$$



**Рисунок 11 – Вплив температури гарячої суміші на нагрівання раніше укладеної суміші покриття**

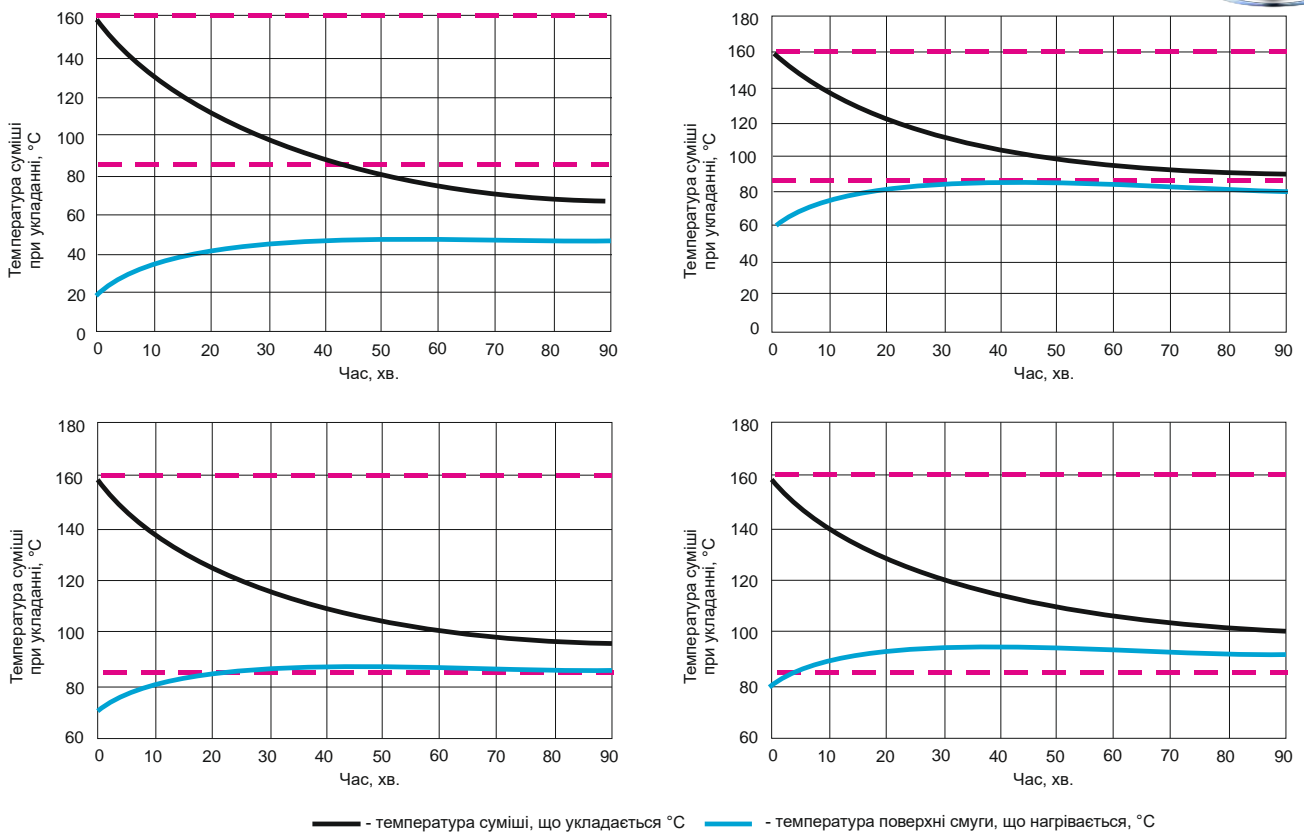
*Авторська розробка*

При укладанні шару покриття з більш високою температурою суміші, за рахунок передачі тепла відбувається додатковий нагрів раніше покладеного шару. Підвищення температури краю раніше укладеної лінії становить, залежно від різниці температури шарів, від 15 °C до 20 °C. Аналіз результатів показав, що після укладання шару покриття максимальна температура краю смуги, за рахунок нагріву від сполученого шару досягається через 10-20 хв (рисунок 12).

Отже, процес ущільнення асфальтобетону на стику смуг необхідно здійснювати після нагрівання через деякий проміжок часу після укладання сполученого шару покриття.

З середини 90-х років минулого століття у США та Європі було виконано низку довгострокових дослідницьких проєктів, присвячених цій тематиці [5-10]. Науково-практичні роботи, що проводилися на автошляхах та аеродромах у різних погодно-кліматичних умовах експлуатації, дозволили класифікувати конструктивні та технологічні рішення, що забезпечують довгострокову надійність даних елементів асфальтобетонних покриттів.



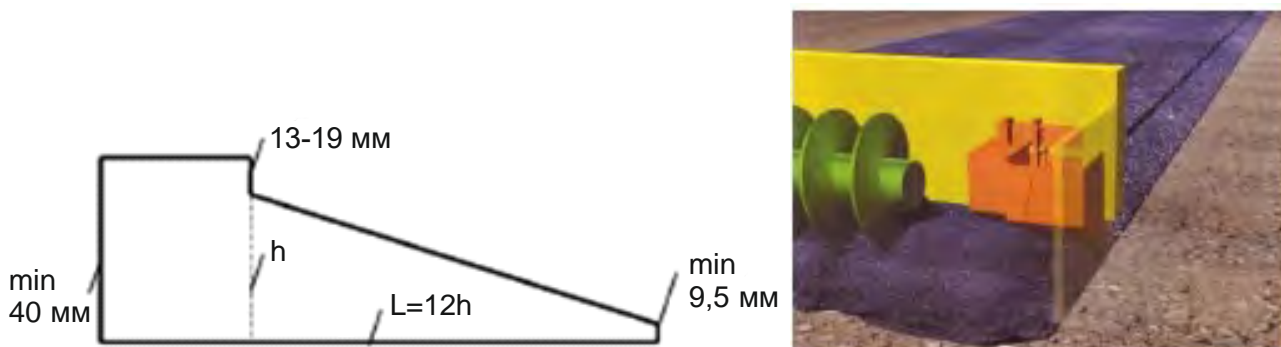


**Рисунок 12 – Розподіл температури суміші в зоні стику смуг покриття**

*Авторська розробка*

Конструктивні та технологічні рішення швів сполучення:

1 Мічиганський клин (Notch Wedge Joint). Конструктивне рішення, згідно з яким, кромці смуги, що укладається, надається форма клину (рисунок 13). Він формується в процесі укладання суміші за допомогою спеціального пристрою, на брусі асфальтоукладача.



**Рисунок 13 – Схема Мічиганського клину**

*Джерело: [5]*



Ущільнення клину здійснюється гладким вальцем, вагою 45-90 кг, також закріпленим на укладальник (рисунк 14). Перед улаштуванням суміжної смуги покриття поверхня клина має бути оброблена бітумною емульсією.



**Рисунк 14 – Малий ущільнювальний валець**

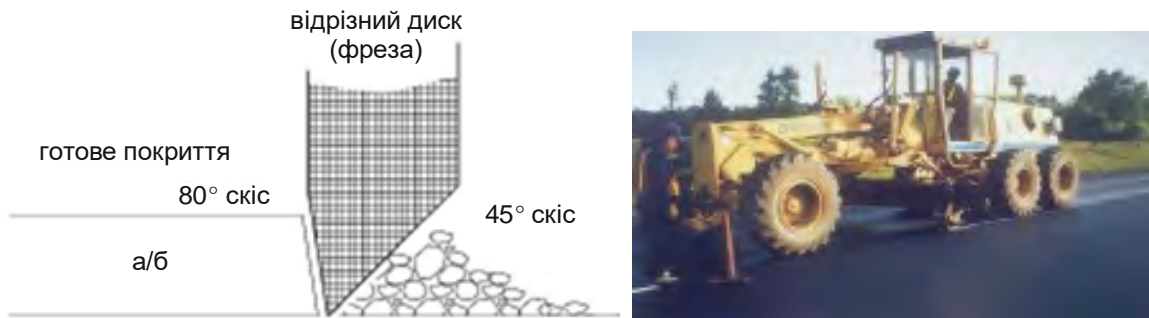
*Джерело: [5]*

Особлива привабливість даної конструкції полягає в тому, що влаштування суміжної лінії допускається протягом наступних 24 годин. Це дозволяє влаштовувати покриття в обсязі повного змінного об'єму одним проходом укладача, підвищуючи продуктивність на 20-30 % і зменшуючи кількість поперечних швів. За даними [11] влаштування Мічиганського клину забезпечує досягнення необхідного коефіцієнта ущільнення в зоні шва сполучення. Застосування клину спільно з бітумно-каучуковими в'язучими дозволяє отримати мінімальне (порівняно з іншими конструкціями) значення водонасичення. З погляду простоти виконання дана конструкція визнана найбільш технологічною.

2 Обрізання кромки відрізним диском (Cutting Wheel). Ця технологія передбачає обрізання недоущільненої кромки на ширину від 38 мм до 52 мм,



встановленим на автогрейдері диском (рисунок 15). Є найпоширенішою практикою влаштування покриттів на аеродромах США.



**Рисунок 15 – Схема конструкції диска**

Джерело: [6]

До недоліків даної конструкції відносять утворення великої кількості асфальтобетонного брухту, що підлягає подальшій переробці і високі вимоги до синхронності дій операторів обрізної машини і асфальтоукладача. Крім того, існує думка, що вплив відрізного кола викликає зміщення крайових зерен мінімального матеріалу, що надалі сприяє розвитку тріщин. Як альтернатива відрізному колу рекомендується застосування алмазного ріжучого інструменту, з подальшим промиванням стінки шва водою (рисунок 16).



**Рисунок 16 – Обрізання кромки алмазним диском**



3 Система прогріву кромки (Infrared Joint Heating System), складається з блоків випромінювачів, що перетворюють теплову енергію від згоряння зрідженого газу інфрачервоне випромінювання [7]. Блоки можуть монтуватися як на автономному шасі, так і на асфальтоукладачі (рисунок 17).



**Рисунок 17 – Системи інфрачервоного прогріву на асфальтоукладачі**

Останнім часом розроблені установки, що дозволяють автоматично підтримувати постійну температуру прогріву кромки на рівні 170 °С, незалежно від погодних умов та швидкості руху тягача чи укладача [7].

Застосування таких систем показало, що після 1 року експлуатації покриття поздовжні тріщини спостерігалися лише на 2 % від загальної довжини дослідної ділянки. На контрольному покритті ця величина становила 36 %.

4 Крайовий ущільнювач (Edge Restraining Device) – є конічним сталевим вальцем, закріпленим через систему гідрорегулювання на стойці ведучого вальця котка діаметром біля основи – 75 мм (рисунок 18) [8].

Відстань від провідного вальця котка – 150 мм. Гідравлічна система утримує валець з постійною притискною силою на кромці асфальтобетону під час першого проходу котка. При ущільненні основної смуги валець піднімається вище за рівень покриття. Принцип дії крайового ущільнювача зводиться до защемлення краю смуги, що ущільнюється, що дозволяє досягти необхідного



**Рисунок 18 – Крайовий ущільнювач на провідному вальці котка**

ущільнення безпосередньо біля кромки шва. Дані показали, що застосування крайового ущільнювача дозволяє досягати максимальних величин ущільнення безпосередньо у шві та прилеглий зоні [8, 9].

5 Бітумно-каучукові в'язучі покриття (Rubberized Asphalt Tack Coat). До цієї позиції відносяться дорожні мастики та спеціальні стикувальні стрічки. Під впливом температури гарячої суміші в'язуче плавиться і проникає в структуру асфальтобетону, знижуючи тим самим водонасичення в зоні шва. Мастики для ремонту тріщин та обробки кромки покриття потребують спеціальних установок (рисунок 19) [9].



**Рисунок 19 – Спеціалізований заливник для нанесення мастики**

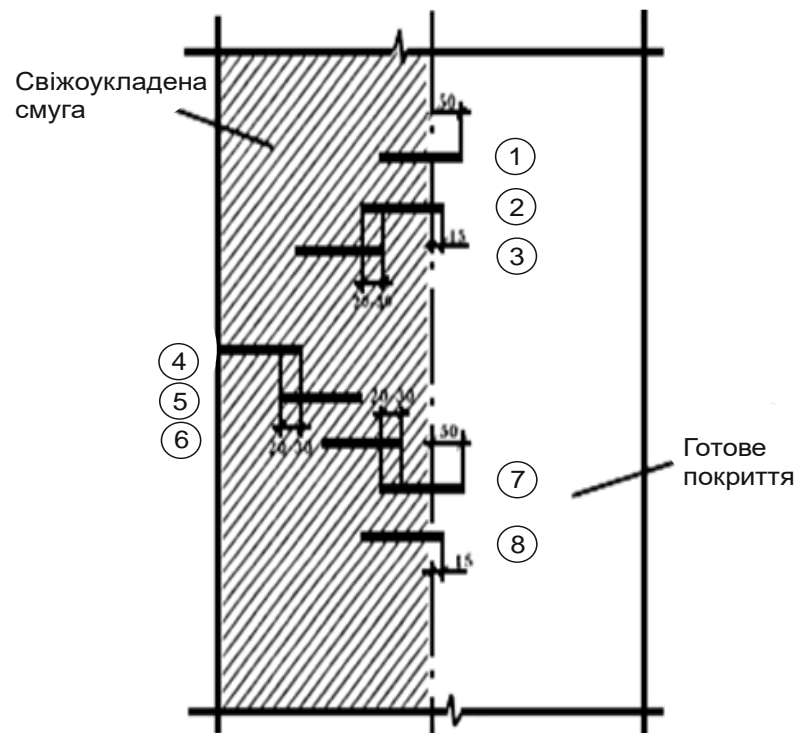


Технології ущільнення суміші в зоні швів сполучення.

1 Ущільнення з перекриттям суміжної смуги, що передбачає перший прохід котка по свіжоукладеній смугі з перекриттям суміжної смуги покриття на 150 мм (рисунки 20, 21).



**Рисунок 20 – Ущільнення із перекриттям суміжної смуги**



①, ②, ③ ... – номери проходів котків

**Рисунок 21 – Схема ущільнення асфальтобетонної суміші при роботі одним асфальтоукладачем**



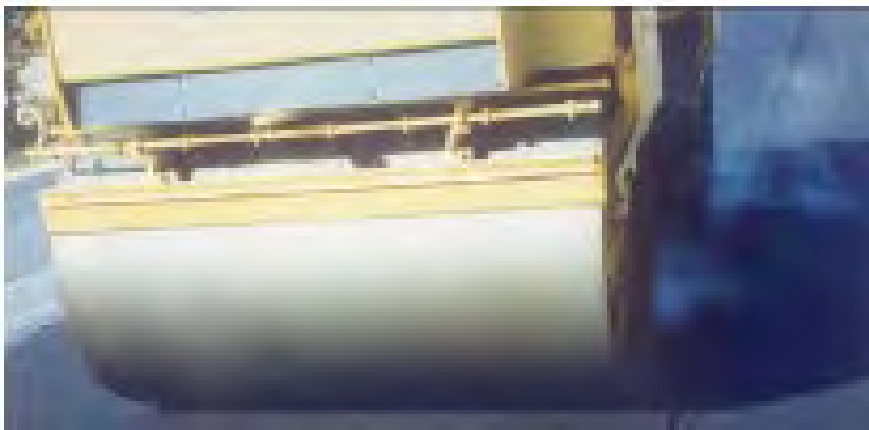


Випробування показали, що різниця в коефіцієнтах ущільнення основного покриття та зони шва сполучення не перевищує 2 %, а моніторинг виконаних об'єктів, що проводився протягом 7 років, підтвердив високу довгострокову ефективність даної технології [10].

На початку процесу ущільнення швидкість котків повинна бути від 1,5 км/год до 2 км/год, а після п'яти-шести проходів по одному сліду її збільшують до 3,5 км/год.

При першому проході гладковальцевих котків провідні вальці мають бути попереду [10].

2 Ущільнення з відступом від шва сполучення. Початок ущільнення укладеної смуги цієї технології з відступом від шва на відстань 150 мм (рисунок 22), так само визнано ефективним прийомом, особливо, коли товщина шару, що ущільнюється, перевищує 100 мм. В інших випадках ущільнення з перекриттям суміжної смуги є кращим.



**Рисунок 22 – Ущільнення з відступом від шва сполучення**

Ущільнення з холодного боку, в даний час, визнано найменш ефективним способом, з метою забезпечення довгострокової надійності швів сполучення, і не входить до переліку технологій, що рекомендуються Національним Центром Технологій Асфальтобетону (NCAT) США [10].