

*Краюшкіна К.В., к.т.н., доцент
Химерик Т.Ю., к.т.н., доцент
Скрипченко О.В., аспірант
Національний авіаційний університет, м. Київ*

РОЗРАХУНОК АРМУВАННЯ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Відомо, що багатократний циклічний вплив осьових зусиль від транспортного потоку, який рухається по автомобільній дорозі, збільшує навантаження на всю конструкцію дорожнього одягу. Досліджено, що надалі це призводить до таких розповсюджених явищ, як колійність, розтріскування від утомленості, а також пластичні деформації шару зносу. Виявлено, що заміна шару зносу тільки тимчасово поліпшує ситуацію, оскільки деформації, які з'являються в основі дорожнього одягу, швидко поширюються й на новий шар, викликаючи передчасний знос. Установлено, що армування асфальтобетонного дорожнього покриття дозволяє збільшити строк служби покриттів автомобільних доріг втричі за рахунок скорочення термічного розтріскування і розтріскування від утомленості, відображених тріщин та осідання. Витрати на ремонтні заходи й експлуатаційне утримання в армованого покриття нижчі, ніж у неармованого, завдяки збільшенню строку експлуатації та розширенню інтервалів між відновлювальними роботами.

Ключові слова: *армування, базальтові волокна, фібра.*

*Краюшкіна К.В., к.т.н., доцент
Химерик Т.Ю., к.т.н., доцент
Скрипченко О.В., аспірант
Національний авіаційний університет, г. Киев*

РАСЧЕТ АРМИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Известно, что многократное циклическое влияние осевых усилий от движущегося по автомобильной дороге транспортного потока увеличивает нагрузку на всю конструкцию дорожной одежды. Исследовано, что в последствии это приводит к таким распространенным явлениям, как колееобразование, усталостное растрескивание, а также пластические деформации слоя износа. Определено, что замена слоя износа только временно улучшает ситуацию, поскольку зародившиеся деформации в основании дорожной одежды вскоре распространяются и на новый слой, вызывая преждевременный износ. Определено, что армирование асфальтового дорожного покрытия позволяет увеличить срок службы покрытий автомобильных дорог в три раза за счет сокращения термического и усталостного растрескивания, отраженных трещин и осадки. Затраты на ремонтные мероприятия и эксплуатационное содержание у армированного покрытия ниже, чем у неармированного, благодаря увеличению срока эксплуатации и расширению интервалов между восстановительными работами.

Ключевые слова: *армирование, базальтовые волокна, фибра.*

*Krayushkina K., PhD, Associate Professor
Khymerik T., PhD, Associate Professor
Skrypchenko O., post-graduate
National Aviation University, Kyiv*

ESTIMATION OF REINFORCEMENT OF NON-RIGID ROAD STRUCTURES

The effect of repeated cyclic axial forces from moving on the road traffic flow, increases the load on the entire structure of the pavement. In consequence this leads to such common phenomena as rutting, fatigue cracking and plastic deformation of the wear layer. Over the years, the number of vehicles increases, which only exacerbates the problem. Replacement of the wear layer only temporarily improves the situation, since the strain originated at the base of the pavement soon spread to the new layer, causing premature wear. Reinforcement of asphalt road covering allows to increase the service life of pavement of highways three times over through reduced thermal and fatigue cracking, reflection cracking and precipitation. Due to the lifetime extension and expansion of intervals between restoration work costs for maintenance measures and operational maintenance have reinforced coating is lower than that of unreinforced.

For increased strength and durability, reducing or eliminating such damage, you can use the effect of reinforcement. Reinforcement of pavements involves the arrangement of additional layers or introduction to the design of the reinforcing element, in particular, geonet.

Reinforcing geogrids shall perform the following functions: enhancing the strength of asphalt pavement under tension; perception and even distribution over a greater area coverage of the major horizontal stress is tensile.

In contrast to the unreinforced samples of asphalt concrete, which typically occurs one big crack in reinforced samples formed small distributed cracks.

The geogrids shall meet the following requirements:

- 1) reinforcing geogrid must contain the free surface at least 75 % of the area of the grid, which allows direct contact of the layers of asphalt concrete over the mesh and under it;*
- 2) the cell size should be 2 – 2,5 times greater than the characteristic size of the particles of mineral filler in asphalt;*
- 3) strength of geogrid with a width of 1 m in the longitudinal and transverse directions shall be not less than 50 kN/m.*

Geonet recommended for reinforcement of monolithic layers of asphalt pavement. Reinforcement of the monolithic layer bottom face or the top of geogrids with tensile strength greater than the strength of the material layer is tensile in bending, increases the calculated strength of the structure according to the third criterion of strength (tensile strength in bending of monolithic layers), and this will reduce the thickness of the whole structure by at least 10 %. Use of geogrids can and as tradingperiod interlayer, preventing the emergence of a «mirrored» surface cracks, repair (laying a new layer of asphalt. Geogrid can be laid as the old paint, and between coats of the new coating.

Keywords: *reinforcement, basalt fiber, fiber.*

Вступ. Розв'язання проблем, пов'язаних з інтеграцією України у Європейську транспортну систему, підвищенням інтенсивності й вантажонапруженості руху автомобілів, вимагає поліпшення експлуатаційного стану доріг, їх якості та довговічності відповідно до вимог сучасного ринку учасників руху, що неможливо без упровадження новітніх матеріалів і раціональних технологій улаштування нових та ремонтів існуючих автомобільних доріг, які забезпечать економічність виконаних робіт, безпеку і комфортність дорожнього руху.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. У сучасному будівництві дорожній одяг з нежорстким покриттям займає провідне місце в усьому світі. В Україні до 90% автомобільних доріг вищих категорій мають покриття з асфальтобетону. Збільшенню міцності, зменшенню деформативності та стійкості проти різного роду руйнувань цього матеріалу присвячено дослідження [1 – 4].

Одним з найбільш ефективних заходів підтримання транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів на достатньому рівні є застосування геосинтетичних матеріалів як армуючих прошарків.

Армуючий матеріал, який застосовується при будівництві, реконструкції та ремонтах доріг, сприймає й перерозподіляє розтяжні зусилля і попереджає надлишкову горизонтальну деформацію подовження поблизу підошви шару при його згині, що виникають при багатократних короточасних впливах колісного навантаження від автотранспорту. Він повинен також сприймати і перерозподіляти розтяжні напруги та попереджувати надлишкову деформацію, які виникають у деяких перерізах від тривалого температурного впливу [5 – 8].

Застосування геосинтетичних матеріалів як армуючих прошарків в асфальтобетонних шарах можливе у двох напрямках: по-перше, збільшення міжремонтних строків служби армованого покриття і зниження витрат на його утримання за рахунок уповільнення процесів тріщиноутворення й колієутворення; по-друге, зниження витрат на будівництво армованого покриття шляхом деякого зменшення його товщини (без збільшення міжремонтних строків служби). Техніко-економічні розрахунки і досвід експлуатації армованих покриттів показують, що оптимальним напрямом застосування є перший, хоча в деяких випадках можливе застосування другого напрямку [9 – 10].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Таким чином, попередніми дослідженнями достатньо обґрунтовано можливості: поліпшення якості бітуму за рахунок уведення полімерних добавок; розроблення нових складів асфальтобетону шляхом додавання у суміш різних полімерних і мінеральних волокон; удосконалення організації технологічного процесу приготування матеріалів покриттів тощо. Однак при цьому використання базальтоволоконних матеріалів для армування дорожніх конструкцій з асфальтобетонним покриттям за умов зростання інтенсивності руху й вантажопідйомності транспортних засобів поки ще залишається не достатньо дослідженим питанням дорожнього будівництва.

Мета дослідження – обґрунтування необхідності розроблення раціональної технології дисперсного і напрямного армування дорожніх конструкцій нежорсткого типу (з асфальтобетонним покриттям) для підвищення транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг в умовах стрімкого розвитку транспортних потоків.

Основний матеріал і результати. Базальтові волокна (БВ) і безперервні базальтові волокна (ББВ), отримані плавленням гірських базальтових порід, мають високі значення характеристик міцності, а також хімічну, корозійну та термічну стійкість до перепадів температур і знакоперемінних навантажень, але при цьому ще й відзначаються низькою вартістю [1 – 3]. Завдяки цьому, ББВ забезпечують високі будівельні властивості матеріалів, виготовлених на їх основі, а саме: фібр, сіток і суцільних полотен, нетканих

геотекстильних матеріалів, арматурних стрижнів, застосування яких у дорожньому будівництві дозволяє підвищувати стійкість асфальтобетонних покриттів до впливу транспортних навантажень і природно-кліматичних факторів, збільшити міжремонтні строки та ресурси різних конструктивних шарів, зменшити вартість будівництва і ремонтів автомобільних доріг.

Крім того, перспективним є застосування базальтових виробів – профілів, колесовідбійників, огорожень, тюбінгів для тунелів, стовпів освітлення і дорожніх знаків, лотків тощо.

Для отримання БВ з оптимальними властивостями була розроблена комплексна математична модель процесу виробництва й отримані уніфіковані диференціальні рівняння, які враховують теплообмін, текучість, витягування волокон як до відриву елементарних ниток, так і після їх відриву (первинне та вторинне витягування).

Рішення відповідних диференціальних рівнянь дозволило отримати такі розрахункові рівняння.

Для визначення температури БВ у будь-якому локальному перерізі (x) в безрозмірному вигляді запропоновано таку залежність:

$$V(x) = \frac{t_f - t(x)}{t_f - t_0} = \exp \left[-\sqrt{2\pi} \left(\frac{\lambda_{e0}}{C_0 \rho_0} \cdot \frac{L}{Q} \right) \frac{\bar{\lambda}_2}{\rho c v_2} \cdot Re^{\frac{1}{2}} \left(\frac{L}{r_{00}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\bar{W} - \bar{U}(x)^2 \int_0^{\bar{x}} \sqrt{\bar{r}(x)} d\bar{x} \right) \right], \quad (1)$$

де Re – середнє значення границі міцності БВ,

$$Re_2 = \frac{U_0 r_{00}}{v_2}; \quad (2)$$

\bar{W} – термодинамічна робота адгезії,

$$\bar{W} = \frac{W}{U_0}; \quad (3)$$

W – робота когезії;

U – початкова швидкість;

η – в'язкість;

F – сила взаємодії, що обумовлює початок деформації;

T – ємність катіонного обміну;

$$\bar{U}(x) = \frac{U(x)}{U_0}; \quad \bar{r}(x) = \frac{r(x)}{r_{0z}}; \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{x}{L}; \quad \bar{\rho}_2 = \frac{\rho_2}{\rho_{20}}; \quad \bar{\lambda}_2 = \frac{\lambda_{20}}{\lambda_2}; \quad \bar{v}_2 = \frac{v_{20}}{v_2}; \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}; \quad \bar{c} = \frac{c}{c_0};$$

індекс «2» – газ; «0» – базальтові волокна; «0» – початкове значення.

$\bar{U}(x)$ – швидкість витягування;

$\bar{r}(x)$ – радіус БВ на ділянці витягування;

L – довжина ділянки витягування;

$Q = \pi r_{00}^2 U_0$ – витрата матеріалу на БВ;

W_2 – швидкість газового потоку;

t_f – температура газового потоку;

$t(x)$ – температура БВ;

C – теплоємність;

ρ – щільність;

v – в'язкість;

λ – теплопровідність.

Рівняння нерозривності має вигляд

$$r^2(x) \bar{U}(x) = 1.$$

Розрахунок швидкості витягування ведеться поінтервально

$$\bar{U}\left(\frac{i+1}{k}\right) = \bar{U}\left(\frac{i}{k}\right) + \frac{\bar{U}'\left(\frac{i}{k}\right)}{1!} \left(\frac{1}{k}\right) + \frac{\bar{U}''\left(\frac{i}{k}\right)}{2!} \left(\frac{1}{k}\right)^2 + \dots ; \quad (5)$$

$i=0,1,2,\dots,(k-1).$

Для початкової ділянки $\bar{U}(0) = 1$;

$$\bar{U}'(0) = \frac{2}{3} \frac{\sigma_0}{\eta_0 r_{00}} \cdot \frac{L}{U_0} \cdot \frac{\sigma_0}{\eta r} ; \frac{\sigma}{\eta r} = 1, \quad (6)$$

де σ – поверхневий натяг.

Надалі приймається при визначенні $\bar{U}\left(\frac{i+1}{k}\right)$ значення $\bar{U}\left(\frac{i}{k}\right)$ з розрахунку попереднього інтервалу

$$\bar{U}'\left(\frac{i+1}{k}\right) = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_0}{\eta_0 r_{00}} \cdot \frac{L}{U_0} \cdot \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\eta}\left(\bar{T}\left(\frac{i}{k}\right)\right)\bar{r}\left(\frac{i}{k}\right)} ; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{U}''\left(\frac{i+1}{k}\right) = & \frac{4}{9} F \cdot \frac{\bar{\sigma}_z}{\bar{\eta}_z\left(\bar{T}\left(\frac{i}{k}\right)\right)} \bar{U}\left(\frac{1}{k}\right) - \frac{1}{\bar{\eta}\left(\bar{T}\left(\frac{i}{k}\right)\right)} \cdot \frac{d\bar{\eta}}{d\bar{T}} \cdot \frac{d\bar{T}}{dx} + \\ & + \frac{R_{eo}}{3} \cdot \frac{\bar{\rho}\bar{U}\left(\frac{i}{k}\right)}{\bar{\eta}\left(\bar{T}\left(\frac{i}{k}\right)\right)} \cdot \frac{2}{3} F \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\eta}\left(\bar{T}\left(\frac{i}{k}\right)\right)} \bar{U}^{\frac{1}{2}}\left(\frac{i}{k}\right) + \end{aligned} \quad (8)$$

$$+ \frac{1,328}{3\sqrt{2}} \left(\frac{L}{r_{00}}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{R_{ez}} \left(\bar{W} - \bar{U}\left(\frac{i}{k}\right)\right)^{\frac{3}{2}} \bar{U}^{\frac{1}{2}}\left(\frac{i}{k}\right),$$

$$\text{де } F = \frac{\sigma_0}{\eta_0 r_{00}} \cdot \frac{L}{U_0} ; \quad R_{eo} = \frac{\rho_0 U_0 t}{\eta_0}$$

Алгоритм розрахунку такий:

1-й цикл:

$$\bar{r} = 1; t(\bar{x}) = t\left(\frac{1}{k}\right); \bar{\eta} = \bar{\eta}\left(\frac{1}{k}\right); \bar{U} = \bar{U}\left(\frac{1}{k}\right); \quad (9)$$

2-й цикл:

$$\bar{r} = \sqrt{\frac{1}{\bar{U}\left(\frac{1}{k}\right)}}; t\left(r\left(\frac{1}{k}\right)\right); \bar{\eta}\left(t\left(\frac{1}{k}\right)\right); \bar{U} = \bar{U}\left(\frac{2}{k}\right); \quad (10)$$

3-й цикл:

$$\bar{r} = \sqrt{\frac{1}{\bar{U}\left(\frac{2}{k}\right)}}; t\left(r\left(\frac{2}{k}\right)\right); \bar{\eta}\left(t\left(\frac{2}{k}\right)\right); \bar{U} = \bar{U}\left(\frac{3}{k}\right). \quad (11)$$

У результаті були отримані БВ з оптимальними розмірами – рублені на відрізки довжиною 15 – 30 мм і діаметром 13 – 18 мкм, які прийняті для досліджень дисперсного армування асфальтобетону і названі базальтовою фіброю (БФ), що придатна для дисперсного (об’ємного) армування асфальтобетонів різних типів. БФ при ретельному перемішуванні рівномірно розподіляється в суміші по всьому обсягу в різних напрямках таким чином, що в кожному кубічному сантиметрі асфальтобетону знаходиться від 20 до 30 штук БФ, що суттєво збільшує його міцність на згин, стиск, удар та тріщиностійкість, особливо до утворення відображених тріщин.

Загальний вигляд БФ наведений на рис. 1, армованого зразка – на рис. 2.



Рисунок 1 – Базальтова фібра довжиною 15 – 30 мм і діаметром волокон 13 – 18 мкм

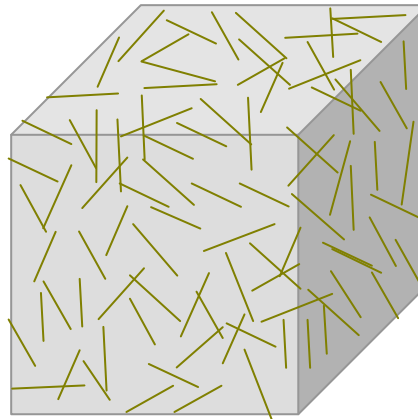


Рисунок 2 – Дисперсне (об’ємне) армування асфальтобетону

Визначення залежності міцності на розтяг при згині гарячого дрібнозернистого асфальтобетону типу «А» від довжини фібри наведено на рисунку 3.

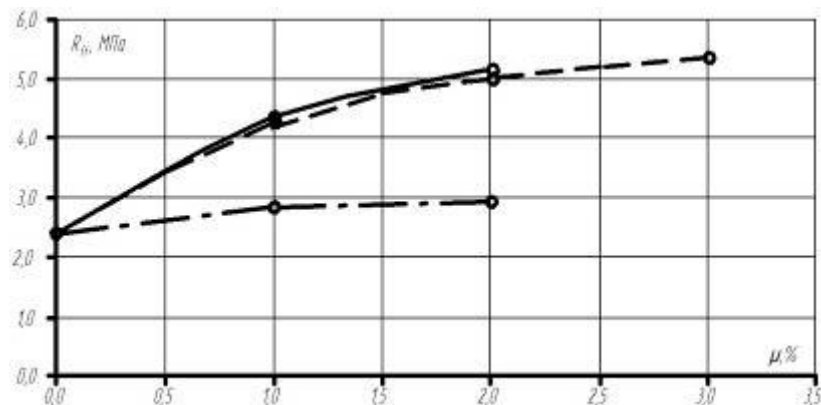


Рисунок 3 – Залежність міцності на розтяг при згині асфальтобетону типу «А», армованого базальтовою фіброю:

- 1 (суцільна лінія) – базальтова фібра довжиною 24 мм;
 2 (пунктирна лінія) – 12 мм; 3 (штрих-пунктирна лінія) – 30 мм

З результатів досліджень видно, що для армування асфальтобетону найбільш придатна БФ довжиною 24 мм. Уміст БФ довжиною 24 мм повинен бути в межах 2 – 3% від ваги мінеральних складових (щебеню, піску, мінерального порошку). При такому армуванні міцність на розтяг при згині збільшується в 1,8 – 2,5 рази, міцність на стиск – на 37 – 40% і можливе підвищення тріщиностійкості у

2,0 – 2,5 рази, що дозволить попереджувати утворення колійності на покритті та збільшувати строки експлуатації автомобільних доріг.

БФ може бути застосована при приготуванні гарячих і холодних типів асфальтобетонів. Можлива технологія додавання БФ як до мінерального порошку (роздільна), так і безпосередньо до мінеральної частини суміші (сумісної) не впливає на фізико-механічні показники асфальтобетону.

Приготування гарячого асфальтобетону здійснюється при температурі 140 – 150°C, холодного – при 95 – 100°C. Час змішування гарячих і холодних сумішей за роздільною технологією складає 14 – 15 хв, за сумісною – 10 – 12 хв.

Уведення БФ поліпшує фізико-механічні властивості холодних асфальтобетонних сумішей, попереджує їх злежуваність; такі суміші мають підвищену міцність на стиск (на 70 – 80% більше, ніж еталонні холодні асфальтобетонні суміші). Значення коефіцієнта водостійкості знаходиться в межах норми завдяки тому, що при змішуванні фібри з бітумом утворюються граничні шари, які перешкоджають відшаруванню бітумного в'язучого з поверхні волокон і проникненню води під час експлуатації.

Це дає можливість застосування холодних асфальтобетонних сумішей, дисперсно-армованих базальтовою фіброю для аварійного ремонту доріг, який проводиться в складних погодних умовах – за пониженої температури і підвищеної вологості, для забезпечення безперебійного і безпечного руху транспорту протягом року.

Економічна ефективність використання дисперсно-армованих базальтовою фіброю асфальтобетонів різних типів виникає за рахунок збільшення строку служби дорожніх одягів, можливого зменшення товщини верхнього шару, а також зниження витрат на ремонт і експлуатаційне утримання доріг.

Окрім дисперсного армування асфальтобетонної суміші базальтовою фіброю, в дорожньому будівництві застосовується напряме армування дорожньої конструкції сітками й суцільними полотнами.

Армування різних шарів дорожніх конструкцій (земляне полотно, основа, покриття) базальтоволоконними прошарками у вигляді сіток і полотен призводить до підвищення експлуатаційної надійності, стійкості та довговічності доріг, зменшення витрат традиційних дорожньо-будівельних матеріалів, об'ємів земляних робіт, енерго- і транспортних витрат. Базальтоволоконні прошарки виконують функції переривання тріщин, розділення шарів, фільтрації, дренажа та гідробар'єра.

Загальний вигляд базальтових сіток наведено на рисунку 4.

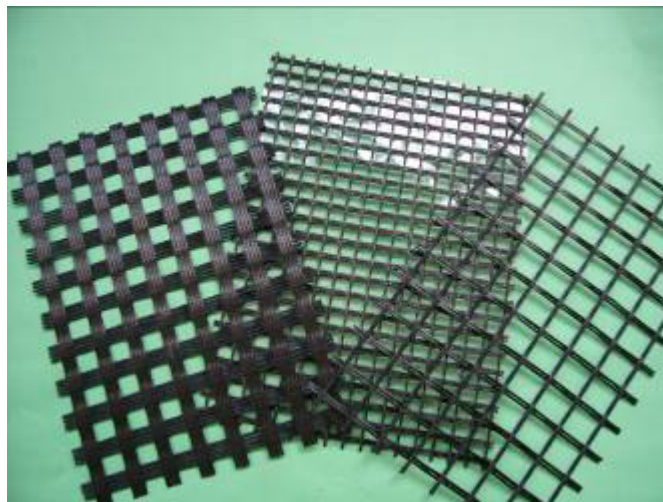


Рисунок 4 – Загальний вигляд базальтових сіток

Як видно з рис. 4, сітка – це плоска жорстка структура з рівномірно розташованими отворами змінних або постійних розмірів, що утворюються з двох систем ББВ, накладених одна на одну і скріплених третьою системою волокон, просочених полімерною композицією на основі бітуму.

Суцільне полотно – це плоска структура, яка складається із суцільно переплетених у поздовжньому і поперечному напрямках ББВ.

Дорожні сітки із ББВ мають ряд переваг: виготовлені з природної сировини, витримують високі навантаження та не витягуються під дією навантажень, мають високу хімічну стійкість і довговічність в експлуатації, витримують високі й низькі температури, вартість у 2,5–3 рази нижча, ніж полімерних. Порівняно зі скловолоконними, такі сітки не руйнуються під дією лужних середовищ, мають більш високу міцність та в цілому є сумісними з асфальтобетоном (субстратом).

Сумісністю є відповідність між фізичними і хімічними характеристиками нового й існуючого матеріалу. Невідповідність викликає розвиток внутрішніх напруг, які негативно впливають на всі складові композиції, а саме: субстрат, контактну область і новий матеріал. Значні внутрішні напруги сприяють утворенню тріщин від розтяжних напруг, зниженню несучої здатності, розшаруванню і руйнуванню матеріалу.

Для дорожнього будівництва були розроблені базальтові сітки марки ПСБ-Д (полотно сітчасте базальтове дорожнє), полотно марки НПБ-550К (полотно суцільне ткане (ниткопрошивне) базальтове дорожнє) для особливо складних геологічних умов (болотисті місця, зсувні ділянки, для влаштування гідроізоляції на мостах) та ГПБ-Д (полотно суцільне голкопробивне (неткане) базальтове дорожнє) для укладання в земляне полотно. Основні технічні характеристики сіток і полотен на основі базальтових волокон наведено в таблицях 1, 2.

Таблиця 1 – Технічні характеристики базальтових прошарків

Найменування показників	Технічні характеристики
Сітка ПСБ-Д	
Розривне навантаження не менше, кг	
– по ширині	120
– по довжині	120
Щільність, гр/м ²	250 ± 10
Подовження під дією навантаження, %	1 – 1,5
Просочення спеціальним складом забезпечує підвищення її міцності і жорсткості	
Полотно НПБ-550 К	
Розривне навантаження не менше, кг	
– по ширині	600
– по довжині	600
Щільність, гр/м ²	550 ± 10
Подовження під дією навантаження, %	12 – 17
Полотно ГПБ-Д	
Розривне навантаження не менше, кг	
– по ширині	50
– по довжині	40
Щільність, гр/м ²	(120 – 130) ± 10
Просочення для підвищення жорсткості	Полімерні композиції

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості базальтоволоконних прошарків

Найменування показників	Вид виробу		
	ткані		неткане суцільне полотно
	сітки	суцільне полотно	
Ширина, м	2 – 4	2,5 – 4	2 – 3,5
Розмір чарунок, м, не менше	25×25	–	–
Границя міцності при розриві, кН/м, не менше:			
вздовж волокон	50,0	30,0	4,0
поперек волокон	40,0	25,0	3,5
Границя міцності при розтягуванні, кН/м, не менше	300,0	400,0	–
Умовний модуль деформації (пружності), МПа	70,0	50,0	100-130
Повзучість, %/ годин	0,1	0,2	4
Залишки маси після кіп'ятіння протягом 3-х годин, відсоток від вихідної:			
у воді (H ₂ O)	99,9	99,9	100,0
у сірчаній кислоті (0,5H ₂ SO ₄)	97,5	98,0	100,0
у їдкому натру (0,5 NaOH)	92,0	95,0	98,0
(2 NaOH)	70,0	75,0	96,0
Випробування в камері штучного клімату протягом 600 годин	Витримує без зовнішніх змін, не ламається, не крихкий		
Температура плавлення, °С, не менше	1200	1200	1200

Найбільш важливими характеристиками базальтових прошарків для дорожнього будівництва є міцність на розрив, відносне подовження, повзучість. Повзучістю є залежність відносного подовження матеріалу під дією постійного навантаження від часу, при великому значенні якої довготривале навіть незначне навантаження може призвести до розриву прошарку.

Розривне навантаження сітки і полотна, витриманого в лужному та кислотному розчині, складає 80 та 70% від вихідної, що вдвічі більше, ніж за євростандартами, згідно з котрими ця величина повинна бути 40% від вихідної.

Величина модуля пружності сітки не нижча від модуля пружності асфальтобетону.

Розмір отворів вибраний достатнім для взаємопроникання матеріалів і забезпечення зчеплення між шарами.

Були розроблені вимоги до прилипання (адгезії) базальтоволоконних матеріалів до в'язучого, що використовуються як основа (підґрунтування) при застосуванні прошарків у верхніх шарах дорожнього одягу.

Випробування виконувались із стрічками шириною 5 см, довжиною 15 см на зразках асфальтобетону діаметром 7 см. Адгезію визначали за величиною сили відриву ручним динамометром за розробленою методикою. Результати наведено в табл. 3.

Укладання базальтоволоконних прошарків виконується на всю ширину проїзної частини або локально на тріщини шляхом розкочування смуг на ширину тріщини поверх підґрунтування з бітуму чи катіоноактивної бітумної емульсії товщиною 0,8 – 1,1 л/м².

У зв'язку з тим, що існують різні види тріщин за своєю шириною та конфігурацією, перекриття їх повинно виконуватися смугами різної ширини відповідно до вимог табл. 4.

У дорожню конструкцію сітку ПСБ-Д укладають між основою зі щебеню й асфальтобетонним покриттям, полотно НПБ-550К – між піщаним і щебеневим шарами, полотно ГПБ-Д – у верхню частину (робочий шар) земляного полотна.



Рисунок 5 – Застосування дорожньої сітки ПСБ-Д при будівництві доріг



Рисунок 6 – Укріплення насипів дорожньою сіткою ПСБ-Д

Адгезію базальтоволоконних матеріалів до шару в'язучого наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Адгезія базальтоволоконних матеріалів до шару в'язучого

Матеріал розливу	Адгезія, Н/см, не менше	
	сітка	полотно ткане
Бітум рідкий	14,0	17,0
Бітум марки БНД 90/130	12,0	16,0
Катіонна бітумна емульсія	50,0	35,0

Таблиця 4 – Ширина перекриття тріщин базальтоволоконними смугами

Типи існуючих тріщин	Ширина смуги
Одиночні, чітко визначені відкриті поздовжні та поперечні тріщини шириною до 3 мм	25 см (по 12,5 см з обох сторін)
Безперервні поздовжні або поперечні тріщини шириною більше 3 мм з розгалуженням або відкриті. Розтріскування у вигляді тонких ліній із сіткою тріщин	50 см (по 25 см з обох сторін)
Сильно розгалужені поздовжні та поперечні тріщини шириною більше 5 мм. Сітка тріщин із дрібними отворами, явно відкриті	70 – 80 см (по 35 – 40 см з обох сторін)

При розділенні шарів дорожньої конструкції армуванням з одночасним поліпшенням умов дренажу прошарок укладається на всю ширину із загином на вищерозташований шар.

Поверхня, на яку укладається базальтоволоконний прошарок, повинна бути чистою, сухою, спрофільованою й ущільненою. Відсіпання щебеневого шару на укладений прошарок виконують способом «від себе» з мінімальним заїздом технологічного транспорту на відкрите полотно.

Висновки:

1. Наведено основні етапи використання базальтоволоконних матеріалів для дисперсного і прямого армування дорожніх конструкцій з асфальтобетонним покриттям для поліпшення безпеки і комфортності руху автомобільних перевезень в умовах постійного зростання інтенсивності й вантажопідйомності транспортних засобів.

2. Матеріали на основі базальтових волокон унаслідок своїх характеристик і вартості знаходять широке застосування в дорожньому будівництві.

3. Використання матеріалів із ББВ дозволяє суттєво підвищити якість, фізико-механічні й експлуатаційні характеристики дорожніх конструкцій, строки експлуатації асфальтобетонних покриттів.

Література

1. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К. : Мінрегіонбуд України, ДП Укрархбудінформ, 2007. – 142 с.
2. Надежко А. А. Об усовершенствованных типах покрытий дорог высоких категорий / А. А. Надежко // Автомобильные дороги. – 1989. – № 11. – С. 24 – 25.
3. Адоряни К. Н. Разработка методов оптимизации и технологии приготовления обновленных асфальтобетонных смесей при ремонте покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.14 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / К. Н. Адоряни. – К. , 1988. – 15 с.
4. Красиков О. А. Исследование изменения прочности дорожных одежд в годовом периоде / О. А. Красиков, Е. П. Павловская // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации дорог: сб. науч. тр. – Алматы : КазАТК, 1998. – С. 204 – 210.
5. Бондарева Э. Д. Армирование асфальтобетонных покрытий геосетками / Э. Д. Бондарева // Строительство и городское хозяйство. – 2011. – № 46. – С. 22 – 27.
6. Матвеев С. А. Армированные дорожные конструкции: моделирование и расчет / С. А. Матвеев, Ю. В. Немировский. – Новосибирск : Наука, 2006. – 348 с.
7. Левашов Г. М. Повреждаемость геосинтетических материалов при армировании покрытия из асфальтобетона / Г. М. Левашов // Материалы 63-й науч.-техн. конф. СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2009. – Кн. 1. – С. 116 – 120.
8. Сиротюк В. В. Технологическая повреждаемость некоторых геосинтетических материалов, применяемых для армирования асфальтобетонных покрытий / В. В. Сиротюк, Г. М. Левашов // Дороги и мосты. – М., 2010. – Вып. 23/1. – С. 85 – 96.
9. Сиротюк В. В. Конструкции дорожных одежд с армированным асфальтобетонным покрытием / В. В. Сиротюк, Е. Ю. Крашенинин // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – М., 2008. – № 4. – С. 71 – 76.
10. Батеро К. Решетки из геосинтетических материалов как арматура для асфальтовых покрытий с интенсивным дорожным движением / К. Батеро // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 5. – С. 4 – 5.

References

1. DBN V.2.3-4:2007. Sporudi transportu. Avtomobilni dorogi. – K. : Minregionbud Ukrayini, DP Ukrarhbudinform, 2007. – 142 s.
2. Nadezhko A. A. Ob usovershenstvovannyh tipah pokrytiy dorog vysokih kategoriy / A. A. Nadezhko // Avtomobilnye dorogi. – 1989. – № 11. – S. 24 – 25.
3. Adoryani K. N. Razrabotka metodov optimizatsii i tehnologii prigotovleniya obnovlennyh asfaltobetonnnyh smesey pri remonte pokrytiy: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: spets. 05.23.14 – budivelni konstruksiyi, budivli ta sporudi / K. N. Adoryani. – K. , 1988. – 15 s.

4. Krasikov O. A. *Issledovanie izmeneniya prochnosti dorozhnyh odezhd v godovom periode* / O. A. Krasikov, E. P. Pavlovskaya // *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii dorog: sb. nauch. tr.* – Almaty : KazATK, 1998. – S. 204 – 210.
5. Bondareva E. D. *Armirovanie asfaltobetonnyh pokrytiy geosetkami* / E. D. Bondareva // *Stroitelstvo i gorodskoe hozyaystvo.* – 2011. – № 46. – S. 22 – 27.
6. Matveev S. A. *Armirovannyye dorozhnye konstruksii: modelirovanie i raschet* / S. A. Matveev, Yu. V. Nemirovskiy. – Novosibirsk : Nauka, 2006. – 348 s.
7. Levashov G. M. *Povrezhdaemost geosinteticheskikh materialov pri armirovanii pokrytiya iz asfaltobetona* / G. M. Levashov // *Materialy 63-y nauch.-tehn. konf. SibADI.* – Omsk : SibADI, 2009. – Kn. 1. – S. 116 – 120.
8. Sirotyuk V. V. *Tehnologicheskaya povrezhdaemost nekotoryh geosinteticheskikh materialov, primenyaemyh dlya armirovaniya asfaltobetonnyh pokrytiy* / V. V. Sirotyuk, G. M. Levashov // *Dorogi i mosty.* – M., 2010. – Vyp. 23/1. – S. 85 – 96.
9. Sirotyuk V. V. *Konstruksii dorozhnyh odezhd s armirovannym asfaltobetonnyim pokrytiem* / V. V. Sirotyuk, E. Yu. Krasheninina // *Avtomatizirovannyye tehnologii izyskaniy i proektirovaniya.* – M., 2008. – № 4. – S. 71 – 76.
10. Batero K. *Reshetki iz geosinteticheskikh materialov kak armatura dlya asfaltovyh pokrytiy s intensivnym dorozhnym dvizheniem* / K. Batero // *Stroitelnye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka.* – 2000. – № 5. – S. 4 – 5.

© Краюшкіна К.В., Химерик Т.Ю., Скрипченко О.В.
Надійшла до редакції 13.05.2016