

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко, М. В. Цвирко
Белорусский государственный технологический университет

УКРЕПЛЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОВ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИЕЙ

Укрепление грунтов добавками вяжущих материалов и других веществ дает положительный результат лишь при выполнении следующих требований: размельчение (в случае обработки супесей, суглинков или глин); равномерное распределение вяжущего материала в грунте с точным соблюдением установленной добавки цемента, битума, синтетических смол и других веществ; равномерное увлажнение грунта до необходимой (оптимальной) влажности и уплотнение обработанного грунта до наибольшей плотности.

В результате названных взаимодействий укрепленный грунт должен приобретать требуемую прочность, монолитность и морозостойкость и сохранять их длительное время. Наибольшее распространение в практике дорожного строительства получили методы укрепления грунтов неорганическими и органическими вяжущими. Кроме обычных способов укрепления грунтов неорганическими и органическими вяжущими, применяют комплексные методы, когда на грунт воздействуют добавками двух вяжущих материалов с различными свойствами и оптимальным их сочетанием или добавками одного вяжущего и поверхностно-активных веществ.

Главной особенностью комплексных методов является то, что они при правильном выборе материалов и оптимальном сочетании их дозировок позволяют изменять в положительную сторону физико-химическую и химическую активность грунта, увеличивать адгезию вяжущих материалов, ускорять формирование более прочной и монолитной структуры укрепленного грунта.

В статье приведены описания эмульсий, которые могут применяться в дорожном строительстве, а также их свойства и описание получения на производстве.

Ключевые слова: битум, эмульсия, эмульгатор, укрепление, грунт, устойчивость, прочность, морозостойкость.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko, M. V. Tsvirko
Belarusian State Technological University

STRENGTHENING OF ROAD SOILS WITH BITUMEN EMULSION

Strengthening of soils by additives of knitting materials and other substances yields positive result only at performance of following requirements: comminution (in case of processing of sandy loams, loams or clay); uniform distribution of a knitting material in a soil with exact observance of the established additive of cement, bitumen, synthetic pitches and other substances; uniform humidifying of a soil to necessary (optimum) humidity and consolidation of the processed soil to the greatest density.

As a result of the named interactions strengthened soil should get demanded durability, solidity and frost resistance and to keep their long time. The greatest distribution to practice of road building was received by methods of strengthening of soils the inorganic and organic knitting. Except usual ways of strengthening of soils inorganic and organic knitting, apply complex method when a soil influence additives of two knitting, materials with various properties and their optimum combination or additives of one knitting and superficially active substances [1].

The main feature of complex method is that at a correct choice of materials and an optimum combination of their dosages allow to change physical-chemical and chemical activity of a soil in a positive side, to increase adhesion of knitting materials, to accelerate formation of stronger and monolithic structure of the strengthened soil.

In article description emulsion which can be applied in road building are resulted, and also their properties and their reception on manufacture is described.

Key words: bitumen, emulsion, emulsifier, strengthening, soil, stability, durability, frost resistance.

Введение. В районах дорожного строительства, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозке их на большие расстояния, что увеличивает стоимость этих материалов примерно в 4–6 раз и является причиной удорожания строительства. Поэтому весьма ак-

туальна разработка методов использования и укрепления местных грунтов вяжущими материалами.

Укрепление грунтов – это совокупность строительных операций по внесению вяжущих и других веществ, обеспечивающих существ-

венное изменение свойств грунтов с приданием им требуемой прочности, деформативности, водо- и морозостойкости.

Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами до последнего времени имело преимущественное распространение, при этом использовались главным образом жидкие битумы и дегти. Проведенные исследования показали, что целесообразнее применять битумные эмульсии [1].

Основная часть. Снижение стоимости строительства дорог и экономия органических вяжущих материалов возможны при применении битумных эмульсий.

Эмульсия представляет собой систему, состоящую из двух практически нерастворимых друг в друге жидких фаз (рис. 1).

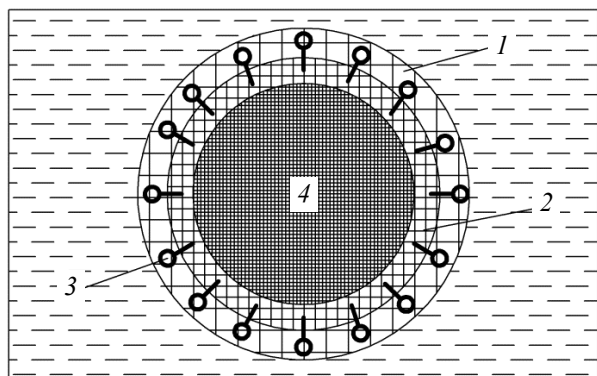
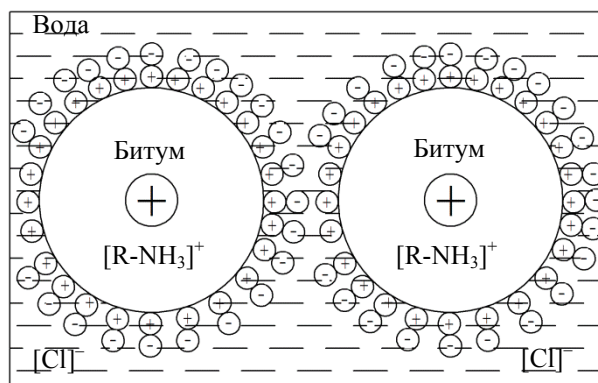


Рис. 1. Схема образования эмульсии:
1 – слой воды, примыкающие к гидрофильной части эмульгатора;
2 – слой битума, связанный с гидрофильной частью эмульгатора;
3 – частицы эмульгатора;
4 – частицы эмульгированного битума

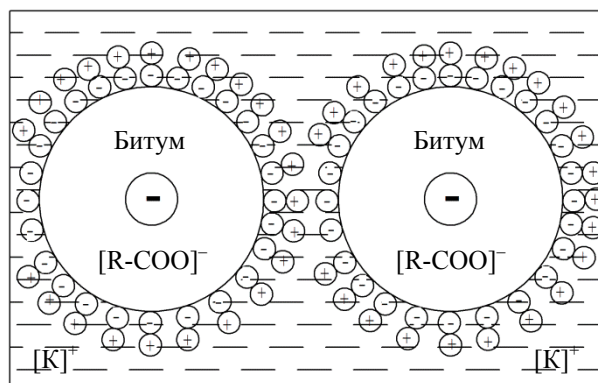
Эмульсии можно получать двумя способами – диспергированием и конденсацией. Диспергированием называется процесс механического дробления одной жидкости в другой. Для этих целей могут быть использованы различного типа установки: коллоидные мельницы, диспергаторы, ультразвуковые приборы и др. При конденсационном методе эмульсию получают путем перенасыщения гомогенного раствора двух жидкостей вследствие снижения их взаимной растворимости при добавлении к раствору третьей жидкости.

Для придания эмульсии агрегатной устойчивости при обычных и особенно высоких концентрациях дисперсной фазы используют специальные вещества, называемые эмульгаторами. Эмульгаторы – вещества, обладающие способностью придавать устойчивость эмульсиям, т. е. являющиеся их стабилизаторами. Действие эмульгатора объясняется тем, что,

сосредотачиваясь на поверхности раздела двух жидких фаз, образующих эмульсию, они препятствуют обратному слиянию (коалесценции) частиц, получающихся при диспергировании одной жидкости в другой. Происходит это потому, что молекулы эмульгаторов, состоящие из полярной и неполярной частей, неполярной частью обращены к битуму, а полярной – к воде. Такая ориентация молекул уравнивает полярности вяжущего и воды и снижает поверхностное натяжение на границе их раздела. В этом случае частицы фазы приобретают положительные или отрицательные электрические заряды: при использовании анионных эмульгаторов – отрицательные, а при катионных – положительные. Одноименно заряженные мельчайшие частицы вяжущего отталкиваются друг от друга и вследствие этого не слипаются между собой, что придает эмульсиям устойчивость (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Схема распределения электрических зарядов:
а – в анионной эмульсии;
б – в катионной эмульсии

Имеются две группы эмульгаторов, используемых для приготовления эмульсий: 1) поверхностно-активные вещества (ПАВ), растворимые в обеих фазах эмульсий (или в одной из них), сильно адсорбирующиеся на границе раз-

дела и вследствие этого понижающие межфазное поверхностное натяжение; 2) твердые высокодисперсные минеральные порошки, частицы которых, избирательно смачиваемые по разным участкам своей поверхности обеими фазами эмульсии, прилипают к межфазной поверхности раздела и бронируют капли дисперсной фазы.

Твердые эмульгаторы применяют в основном при изготовлении битумных паст и реже – дорожных эмульсий. Эмульсии на твердых эмульгаторах в своем составе содержат 50–60% битума или дегтя, 30–45% воды и 6–12% твердого эмульгатора. Пасты перед употреблением по мере необходимости разбавляют водой до требуемой вязкости. Для повышения устойчивости эмульсий на твердых эмульгаторах к ним часто добавляют органические эмульгаторы, к которым относятся сульфитно-спиртовая барда, казеин, желатин, мыла и др.

Для изготовления дорожных эмульсий чаще всего применяют водорастворимые эмульгаторы, к которым относятся анионные и катионные ПАВ. При использовании анионных веществ получают щелочные (анионные) эмульсии, катионных – кислые (катионные) эмульсии [14, 15].

По скорости распада эмульсии подразделяются на три класса: БА – быстрораспадающиеся анионные; СА – среднераспадающиеся анионные; МА – медленнораспадающиеся анионные. По вязкости и содержанию в них битума эмульсии классов БА и МА в свою очередь подразделяются на марки: БА-1 и БА-2, МА-1 и МА-2.

Для приготовления эмульсий используют битумы нефтяные вязкие улучшенные [2] марок БНД 200/300 ПН/1 130/200, БНД 90-130, БНД 60/90, БНД 40/60. Марку битума назначают с учетом климатических условий района строительства и конструкции дорожной одежды. Могут также применяться жидкие битумы в

случае использования эмульсий для гидропосева трав, укрепления барханных песков и т. д.

В качестве эмульгаторов рекомендуется использовать продукты, содержащие анионные ПАВ, – высшие органические кислоты (жирные, смоляные, нафтеновые, сульфонафтеновые) или их щелочные соли (мыла): асидол марки А-2, асидол мылонафт и мылонафт 1-го и 2-го сортов, нефтяные сульфокислоты марки КПг, синтетические жирные кислоты С₂₀, сосновую смолу марки В (сухоперегонную) и др [3].

В качестве щелочных веществ применяют едкий натр, жидкое стекло, триполифосфат натрия. Эмульгатор и щелочное вещество выбирают в зависимости от требуемого класса эмульсии. Эмульгатор вводят в воду или битум, а щелочное вещество – в воду.

Для стабилизации дорожных эмульсий наиболее часто применяют такие вещества, как битумная присадка БП-3, С_{17...С₂₀}, амилтриметилламмонийхлорид и др. У катионных эмульсий рН колеблется в пределах 2–6. Для приготовления дорожных эмульсий используются также таловое масло, жировой гудрон, стеарин, карбоксилламин, катионные препараты ХД-180, ХД-34 и др.

Анионные эмульсии, используемые в дорожном строительстве, должны удовлетворять требованиям [3] табл. 1.

По скорости распада при обработке минеральных материалов катионные эмульсии подразделяются на: быстрораспадающиеся (БК) – до 5 мин, среднераспадающиеся (СК) – 5–10 мин и медленнораспадающиеся (МК) – более 10 мин.

Для определения скорости распада этих эмульсий рекомендуется применять кварцевый порошок, массовая доля которого составляет: для БК – менее 50%, для СК – 50–100% и МК – более 100%. Устойчивость эмульсии при транспортировании должна быть не менее 2 ч.

Таблица 1

Показатели свойств анионных эмульсий

Показатель	Нормы для марок				
	БА-1	БА-2	СА	МА-1	МА-2
Скорость распада при смешивании с цементом, мин	Менее 5		5–10	Более 10	
Содержание битума с эмульгатором, % (по массе)	55–60	45–54	55–60	51–55	40–50
Вязкость при 20°С по вискозиметру ВУ, град	5–10	2–6	6–10	2–8	1,5–5
Вязкость при 20°С по вискозиметру для нефтяных битумов с отверстием 3 мм, с	15–30	10–20	20–40	10–25	8–15
Устойчивость (при хранении) по остатку на сите с сеткой № 014, %, не более:					
через 7 дней	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7
через 30 дней	1	1	1,2	1,2	1,2

Катионные эмульсии, используемые для обработки кислых и щебеночных материалов, подразделяются на два товарных типа К-1 и К-2. Эмульсия К-1 содержит в своем составе 55–60% (по массе) битума БНД 130/200 или БНД 200/300, технической смеси алифатических аминов 1,6–1,8%, соляной кислоты (концентрированной 36%-й) – 0,6–0,7 и воды до 100%, в эмульсии К-2 технической смеси алифатических аминов содержится 0,8–0,9%.

Согласно [4, 5, 6], катионные эмульсии должны удовлетворять следующим требованиям (табл. 2).

Таблица 2

Показатели свойств катионных эмульсий

Показатель	Норма для марок		
	БК	СК	МК
Содержание битума с эмульгатором, %	50–60		
Вязкость при 20°C по вискозиметру ВУ, град	6–15		
Вязкость при 20°C по вискозиметру с диаметром сточного отверстия 3 мм, с	20–50		
Устойчивость (при хранении) по остатку на сите, %, не более:			
через 7 сут	0,3–0,5 (на сите № 014)		
через 30 сут	0,7–0,8 (на сите № 0,63)		

Достоинство битумных эмульсий катионного типа как вяжущего материала для дорожного

строительства в том, что они характеризуются прочным прилипанием к каменным материалам кислых пород: гранитов, кварца и др. Это обусловлено природой ПАВ и химико-минералогическим составом каменных материалов.

Дорожные битумные эмульсии применяются для получения черного щебня, пористых, плотных щебеночных и гравийно-песчаных материалов, используемых при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд; устройства защитных слоев с шероховатой поверхностью; ухода за свежееуложенным цементобетоном и цементогрунтом; закрепления откосов земляного полотна и подвижных песков; подгрунтовок под асфальтобетонные слои; при ремонтных работах и как добавка при комплексном укреплении грунтов (например, цементом, известью и др.) [7, 8, 9].

Заключение. Надежность нежесткой дорожной одежды во многом зависит от свойств основания, которое часто состоит из нескольких слоев. Верхний слой основания из битумопесчаной смеси должен обеспечивать надежную работу асфальтобетонного покрытия – образовывать вместе с ним единую упругую плиту, иметь надлежащее сцепление с покрытием и одинаковый или близкий коэффициент температурного расширения [10, 11, 12].

На основании результатов исследований [10, 13] установлено, что битумопесчаные смеси целесообразно использовать для дорожного строительства вместо крупнозернистых пористых асфальтобетонных смесей при дальности перевозки песка от карьера до асфальтобетонного завода в пределах до 100 км.

Литература

1. Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М.: Транспорт, 1971. 247 с.
2. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия: ГОСТ 22245-90. М.: М-во химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР, 1991. 12 с.
3. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия: ГОСТ 18659-2005. М.: Издательство стандартов, 2005. 15 с.
4. Технические указания по приготовлению и применению дорожных эмульсий: ВСН 115-75. М.: Транспорт, 1976. 79 с.
5. Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические условия: СТБ 1245-2015. Минск: Госстандарт, 2015. 28 с.
6. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия: СТБ 1062-97. Минск: Госстандарт, 1997. 25 с.
7. Глазер М. П. Битумопесчаные смеси с добавкой нефтеполимерной смолы // Автомобильные дороги. 1970. № 1. С. 8–9.
8. Лысихина А. И. Поверхностно-активные добавки для повышения водостойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. М.: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
9. Безрук В. М. Укрепление грунтов. М.: Транспорт, 1965. 194 с.
10. Финашин В. Н. Дорожные основания из битумопесчаных смесей. М.: Транспорт, 1984. 120 с.
11. Гегелия Д. И., Гезенцевей Л. Б. Сезонные изменения свойств асфальтобетона. М.: Автомобильные дороги. 1977. № 2. С. 24–25.
12. Безрук В. М., Тулаев А. Я. Дорожные основания из стабилизированных грунтов. М.: Дориздат, 1948. 120 с.

13. Эффективность применения укрепленных грунтов и каменных материалов в дорожных одеждах / Ю. М. Васильев [и др.] // Автомобильные дороги. 1977. № 3. С. 11–13.

14. Ястребова Л. Н., Плотникова И. А. Процессы структурообразования грунтов с битумными эмульсиями и влияние на них природы эмульгатора // Труды Союздорнии. 1965. Вып. 38. С. 70–80.

15. Иерусалимская М. Ф., Барам М. Е. Укрепление несвязных грунтов битумными эмульсиями // Труды Союздорнии. 1968. Вып. 24. С. 103–125.

References

1. Bezruk V. M. *Ukreplenie gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve* [Strengthening of soils in road and air field building]. Moscow, Transport Publ., 1971. 247 p.

2. GOST 22245-90. Bitumens the oil road viscous. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 12 p. (In Russian).

3. GOST 18659-2005. Emulsion the bitumen road. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2005. 15 p. (In Russian).

4. VSN 115-75. Technical instructions on preparation and application of a road emulsion. Moscow, Transport Publ., 1976. 79 p. (In Russian).

5. STB 1245-2015. Emulsion of bitumen road cationic. Specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 28 p. (In Russian).

6. STB 1062-97. Bitumen oil for the top layer of a road covering. Specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 1997, 25 p. (In Russian).

7. Glazer M. P. Bitumen-sand mixture with addition of petroleum resin. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1970, no. 1, pp. 8–9 (In Russian).

8. Lysikhina A. I. *Poverkhnostno-aktivnye dobavki dlya povysheniya vodoustoychivosti dorozhnykh pokrytiy s primeneniem bitumov i degtey* [Surface-active of the additive for increase of water stability of road coverings with application of bitumens and tars]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1959. 232 p.

9. Bezruk V. M. *Ukreplenie gruntov* [Strengthening of soils]. Moscow, Transport Publ., 1965. 194 p.

10. Finashin V. N. *Dorozhnye osnovaniya iz bitumopeschanykh smesey* [The road bases from bitumenpeschanye mixes]. Moscow, Transport Publ., 1984. 120 p.

11. Gegeliya D. I., Gezentsvey L. B. *Sezonnye izmeneniya svoystv asfal'tobetona* [Seasonal changes of properties of asphaltic concrete]. Moscow, Avtomobil'nye dorogi [Highways], 1977, no. 2, pp. 24–25 (In Russian).

12. Bezruk V. M., Tulaev A. Ya. *Dorozhnye osnovaniya iz stabilizirovannykh gruntov* [The road bases from the stabilized soils]. Moscow, Dorizdat Publ., 1948. 120 p. (In Russian).

13. Vasil'yev Yu. M., Gayvoransky V. N., Melnikov M. G. Efficiency of application of the strengthened soils and stone materials in road clothes. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1977, no. 3, pp. 11–13 (In Russian).

14. Yastrebova L. N., Plotnikova I. A. Processes of structurization of soils with bitumen emulsion and influence on them of the nature emulsifier. *Trudy Soyuzdornii* [Work of Soyuzdornii], 1965, no. 38, pp. 70–80 (In Russian).

15. Ierusalimskaya M. F., Baram M. Ye. Strengthening of inconsistent soil bitumen emulsion. *Trudy Soyuzdornii* [Work of Soyuzdornii], no. 24, 1965, pp. 103–115 (In Russian).

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tl@belstu.by

Бавбель Евгения Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Цвирко Мария Викторовна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tl@belstu.by

Bavbel Jane Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Tsvirko Mariya Viktorovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 05.03.2018