

УДК 625.072:531.8

*М. Г. Салихов, С. Я. Алибеков, Ю. Е. Щербаков,
Е. В. Вайнштейн, В. П. Сапцин*

О НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА И УКЛАДКИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ

Рассмотрены примеры технологических карт при производстве и укладке некоторых дорожно-строительных материалов с учетом эффекта акад. П.А.Ребиндера при объединении щебня карбонатных пород с вяжущими.

Введение. Дорожная отрасль отличается от большинства других линейностью и сравнительно большой материалоемкостью. Технологии приготовления с применением традиционных каменных материалов и вяжущих, таких как щебень, песок строительный, минеральный порошок, битумы и портландцементы, сводятся к подбору составов, нагреву, просушке или увлажнению компонентов, дозированию, перемешиванию и уплотнению различными способами. Конечная цель технологии – формирование оптимальной микро- и макроструктуры бетонов в дорожных сооружениях. Взаимные связи между элементами структуры достигаются за счет межмолекулярного сцепления и внутреннего трения частиц минеральных материалов, клеящих свойств пленки вяжущих, химических и физико-химических процессов на разделах фаз при достижении (плотной) оптимальной упаковки. Влияние физико-механических свойств компонентов, химических процессов между ними, однородности смесей и степени уплотнения изучены достаточно хорошо и технологически учитываются. Однако межфазные процессы до настоящего времени либо учитываются не в полной мере, либо не учитываются вовсе. Их учет, особенно при применении в смесях относительно малопрочных и неконденционных каменных материалов (например, щебня из малопрочных карбонатных пород и мелкозернистого песка), может явиться большим резервом повышения эффективности дорожного строительства.

Теоретическое обоснование и постановка задачи. Устойчивость конгломератных систем зависит и от прочности межфазных связей. Так, согласно уравнению Дюпре [1, 2], работа адгезии пленки вяжущего к поверхности твердого тела

$$W_{адг} = \sigma^{жс-г} \cdot (1 + \text{Cos}\theta), \quad (1)$$

где $\sigma^{жс-г}$ – свободная поверхностная энергия на границе раздела фаз «жидкость – воздух», т.е. поверхностное натяжение жидкости;

θ – краевой угол смачивания капли жидкости на поверхности твердого тела (камня).

Согласно эффекту академика П.А.Ребиндера [3], при контакте с активной жидкостью или дисперсными частицами у камня происходит снижение свободной поверхностной энергии $W_{св}$, которая может быть найдена из выражения:

$$\Sigma W_{св} = \sigma^{т-жс} \cdot \Sigma S, \quad (2)$$

где ΣS – суммарная площадь контактных зон;

$\sigma^{т-жс}$ – свободная поверхностная энергия на границе раздела фаз «твердое тело – жидкость».

При условии наступления равновесия в контактных зонах из уравнения Неймана можно записать:

$$\sigma^{m-\lambda} = \sigma^{m-\epsilon} - \sigma^{\lambda-\epsilon} \cdot \cos\theta, \quad (3)$$

где $\sigma^{m-\epsilon}$ – свободная поверхностная энергия на границе раздела фаз «твердое тело – воздух».

Подставив (3) в (2), получаем:

$$W_{ce} = (\sigma^{m-\epsilon} - \sigma^{\lambda-\epsilon} \cdot \cos\theta) \cdot \Sigma S. \quad (4)$$

Отсюда видно, что падение (снижение) свободной поверхностной энергии, и соответственно прочности межфазных связей, прямо пропорционально изменению свободной поверхностной энергии твердого тела, поверхностному натяжению жидкости, краевому углу смачивания жидкости и суммарной площади контактных зон. Известно, что чем мельче каменный материал, тем больше значение суммарной площади его поверхностей, тем больше его потенциальная активность. Соответственно, тем больше падение его свободной поверхностной энергии и работа адгезии. Это говорит о том, что при увеличении площади контактных зон пропорционально усиливаются межфазные связи и устойчивее получается система. При использовании в смесях щебня малопрочных карбонатных пород с развитой внутренней поверхностью обеспечение большего контакта с активной жидкостью происходит легче, чем у изверженных пород. Это связано с наличием на их поверхности большого количества открытых пор и трещин, по которым жидкости и активные дисперсные частицы проникают вглубь под действием фильтрационных и диффузионных процессов. Процесс движения жидкостей во внутренней структуре камня может быть облегчен действием избыточных давлений, нагрева, вакуумирования, воздействием ультразвукового и вибрационного поля и т.д. по отдельности или комплексно [4, 5]. Эти положения были проверены и подтверждены многочисленными экспериментами.

Предложения по практическому решению проблемы. Авторами разработаны нетрадиционные технологии производства работ. Примеры некоторых технологических карт представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Технологическая карта производства черного известнякового щебня
методом объёмной пропитки нефтяным гудроном для конструктивного слоя
дорожной одежды толщиной 10 см на 1000 м²**

№ процессов	Источник обоснования	Описание рабочих процессов	Ед. измерения	Кол-во работ	Производительность в смену	Потребность в маш/см
1	ВНиР, В45-27	Транспортировка щебня к сушильному барабану бульдозером, питателем и ковшовым элеватором	м ³	1100	296,3	3,71
2	Расчет	Просушка щебня(при 200–220 °С	м ³	1100	160	6,88
3	СниП 1V-3-84. Приложение	Транспортировка щебня от суш. барабана передвижным ленточным транспортером на расстояние до 5 м	м ³	1100	480	2,29
4	ЕНиР, Е1-2	Транспортировка щебня от склада до установки для пропитки одноковшовым погрузчиком на расстояние до 50 м и его разгрузка в бадью	м ³	1100	109,1	10,1

Окончание табл. 1

№ процессов	Источник обоснования	Описание рабочих процессов	Ед. измерения	Кол-во работ	Производительность в смену	Потребность в маш/см
5	Расчет	Транспортировка щебня в бадье кран - балкой от пункта загрузки до приемка гудронохранилища	м ³	1100	320	3,44
6	ЕНиР, Е-17-19	Нагрев гудрона до 90 °С	м ³	1100	4,21	4,58
7	Расчет	Пропитка щебня	м ³	1100	80	13,75
8	Расчет	Транспортировка бадьи до пункта загрузки щебнем	м ³	1100	-	-
9	Расчет	Вибрирование черного щебня и его укладка в склад	м ³	1100	400	2,75
10	ВНиР, Сб. В45	Погрузка черного щебня на автосамосвалы погрузчиком		1100	307,7	3,57

Таблица 2

Технологическая карта производства черного объёмно-силикатизированного щебня для конструктивного слоя толщиной 10 см дороги 3-й категории

№ процессов	Источник обоснования	Описание рабочих процессов	Ед. измерения	Кол-во работ	Производительность в смену	Потребность в маш/см
1	ЕНиР, Е1-1	Погрузка известнякового щебня фр. 10 – 20 мм в кузов автосамосвала погрузчиком ТО-18	м ³	13,4	267	0,05
2	Расчет	Подвоз щебня на АБЗ автосамосвалами КамАЗ-5511 на расстояние до 30 км	м ³	13,4	35,9	0,37
3	ЕНиР, Е2-1-22	Загрузка щебня в бункер-питатель погрузчиком ТО-18 (или передвижка бульдозером ДЗ-29)	м ³	13,4	267 (851)	0,05 (0,02)
4	Расчет	Просушка щебня в сушильном агрегате	м ³	13,4	160	0,08
5	Расчет	Выгрузка просушенного щебня в кузов автосамосвала и транспортирование на расстояние до 500 м	м ³	13,4		
6	Е1-1	Погрузка просушенного щебня в перфорированные бочки (15 шт) погрузчиком ТО-18	м ³	3,0	267	0,01
7, 8	Е-2527	Снятие крышки с цистерны № 1 при помощи ручной лебедки и заполнение её натриевым жидким стеклом при помощи шестеренного насоса	шт.	1	11	0,1
9	Е1-5	Подъем и опускание перфорированной бочки со щебнем в раствор жидкого стекла автокраном КС-2561 Е	т	0,5	11	0,05
10	Е25-27	Снятие крышки с цистерны № 2 и заполнение её раствором хлористого кальция	шт.	1	11	0,1
11	Е1-5	Подъем автокраном 1-й бочки из цистерны № 1, опускание её в бак № 2 до погружения	т	0,5	11	0,05
12	Е1-5	Подъем автокраном 1-й бочки из цистерны № 2 и опускание на разгрузочную площадку	т	0,5	11	0,05
13	Е25-27	Выгрузка пропитанного стабилизированного щебня из 1-й бочки при помощи ручной лебедки	шт.	1	11	0,1
14	Е1-5	Подъем автокраном 2-й бочки из цистерны № 1, опускание её в цистерну № 2 до погружения	т	0,5	11	0,05
15	Е1-5	Подъем автокраном 2-й бочки из бака № 2 и опускание на разгрузочную площадку	т	0,5	11	0,05

Окончание табл. 2

№ процес-сов	Источник обоснования	Описание рабочих процессов	Ед. измерения	Кол-во работ	Производительность в смену	Потребность в маш/см
16	E25-27	Выгрузка пропитанного и стабилизированного щебня из 2-й бочки при помощи ручной лебедки	шт.	1	11	0,1
17		Повторить с п. 7 по п. 11 ещё 13 раз	т	0,5		12,4
18	E25-27	Подъём и установка крышки на цистерну № 1 ручной лебедкой	шт.	1	11	0,1
19		Подъём и установка крышки на цистерну № 2 ручной лебедкой	шт.	1	11	0,1
20		Повторить с п. 6 по п. 17 включительно ещё 3 раза (II, III, IV циклы 45 бочек или 9 м ³ щебня), итого: -автокран -ручная лебедка -погрузчик	т шт. м ³	0,5 1 12		0,32 37,2 48,0
21	E1-1	Погрузка просушенного щебня в бочки (15 шт) погрузчиком ТО-18				
22	E25-27	Снятие крышки с цистерны при помощи ручной лебедки и заполнение жидким стеклом (№ 1)	шт.	1	11	0,1
23	E1-5	Подъём и опускание бочек с щебнем (7 шт) в раствор жидкого стекла (в цистерну № 1) автокраном КС 2561 Е	т	0,5	11	0,05
24	E1-5	Подъём автокраном 61-й бочки из цистерны №1, опускание её в цистерну № 2 до погружения	т	0,5	11	0,05
25	E1-5	Подъём автокраном 62-й бочки из цистерны № 2 и опускание на разгрузочную площадку	т	0,5	11	0,05
26	E25-27	Выгрузка пропитанного и стабилизированного щебня из 61-й бочки при помощи ручной лебедки	шт.	1	11	0,1
27		Повторить с п. 22 по п. 24 ещё раз	т	0,5		6,0
28	E2527	Подъём и установка крышки на цистерну № 1 ручной лебедкой	т.	1	11	0,1
29		Итого для пропитки 13,4 м ³ щебня (67 бочек по 0,2 м ³) требуется: -автокран -ручная лебедка -погрузчик	т шт. м ³	0,5 1 12		43,2 56,8 0,36
30	Расчет	Подвоз пропитанного щебня к агрегату питания фронтальным погрузчиком	м ³	13,4		
31	E1-1	Загрузка щебня в бункер-питатель погрузчиком ТО-18	м ³	13,4	267	0,05
32		Просушка объёмно-силикатизированного щебня в сушильном агрегате				
33		Перемешивание объёмно-силикатизированного щебня с битумом (3 % от массы щебня) в смесителе в течение 1 мин.				
34		Выпуск черного объёмно-силикатизированного щебня из смесителя в кузов автосамосвала (потребителю)				

Часть предложенных нами технологий, основанных на принципах использования потенциала свободной поверхностной энергии внутренних поверхностей малопрочных каменных материалов, принята производителями и реализована на практике.

Так, например, объёмная пропитка известнякового щебня путем создания избыточных давлений столбом пропитываемых жидкостей – нефтяным гудроном

осуществлена на Фомичевском АБЗ Куженерского ДРС ГУП Республики Марий Эл в августе 1997 года и натриевым жидким стеклом – в Балтасинском ДУ Республики Татарстан в сентябре 2001 года.

В связи с обострением проблемы дорожно-транспортных происшествий на дорогах в зимний период из-за резкого повышения интенсивности движения и образования на покрытиях льда и снежного наката авторами в 2006 году разработаны и переданы в производство (заказчик – ГУ «Марийскавтодор») составы антигололедных асфальтобетонных смесей с пониженной адгезией льда длительного действия [6]. Разработаны соответствующие технологии их производства и укладки (табл. 3).

В настоящее время идет процесс их производственной проверки в Килемарском ДРС ГУП РМЭ. Суть одной из предложенных технологий состоит в замене некоторой части песчаной фракции асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия кристаллической противоморозной солью. В качестве последней используется хлористый натрий. Соль NaCl можно вносить в процессе приготовления, в процессе укладки асфальтобетонной смеси в покрытие или в виде заранее приготовленной песчано-соляной смеси.

Резкое возрастание интенсивности движения и подвижных нагрузок на автомобильных дорогах России и во всем мире, особенно за последние 10 – 15 лет, побудило создание многощелебных асфальтобетонных смесей на прочном щебне с повышенной сдвигоустойчивостью, известных под названием щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА) [7]. Однако они обладают сравнительно высокой себестоимостью, требуют переоборудования технологических линий по выпуску традиционных смесей, перерасхода битума и дорогостоящих импортных связующих добавок.

Таблица 3

Технологическая карта устройства верхнего слоя покрытия автомобильной дороги толщиной 5 см и шириной 8,0 м со скоростью потока 250 м/см из антигололедной асфальтобетонной смеси

№ процессов	Источник обоснования	Описание рабочих процессов	Единица измерения	Количество работ	Производительность в смену	Потребность в маш/см
1	ЕНиР, Е17-5	Разбивочные работы. Подгрунтовка основания розливом жидкого битума в количестве 0,8 л/м ² автогрудронатором при дальности возки 20 км	т	6,40	8,51	0,76
2	Расчет	Подвозка асфальтобетонной смеси на 20 км автосамосвалами (10 т) с разгрузкой в бункер асфальтоукладчика	т	249,3	24,4	10,2
3	ЕНиР, Е17-6	Укладка асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком слоем 5 см	м ²	2000	4705,8	0,42
4	ЕНиР, Е17-7	Подкатка асфальтобетонной смеси катком с массой 6 т при 5 проходах по одному следу	м ²	2000	2580,7	0,77
5	ЕНиР, Е17-7	Укатка асфальтобетонной смеси тяжелым катком с массой свыше 10 т при 10 проходах по одному следу	м ²	2000	1269,8	1,57

С целью снижения себестоимости ЩМА в Чувашской Республике в качестве стабилизирующей добавки опробованы отходы и побочные продукты местной промышленности, в частности целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности, после обработки их огнестойким антипиреном [8]. Исследования опытных участков, проведенные сотрудниками УПРДОР «Волга» совместно с ППС Волжского филиала МАДИ (ГТУ), показали работоспособность и эффективность ЩМА с использованием вышеуказанных добавок. На кафедре автомобильных дорог МарГТУ подобраны составы ЩМА и испытаны их образцы с использованием отсевов дробления известнякового камня Новоторьяльского КДЗ без добавления стабилизирующей добавки [9]. Получены также обнадеживающие результаты. Исследования в этом направлении продолжаются.

Вывод. Широко используемые традиционные технологии производства и укладки различных дорожно-строительных материалов исчерпали свои возможности в плане дальнейшего улучшения эксплуатационных свойств дорожных конструкций. В связи с этим нетрадиционные технологии производства и укладки могут дать новый импульс в развитие дорожной отрасли и явиться резервом повышения эффективности и качества дорожно-строительных работ в целом.

Список литературы

1. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки) / под ред. А.Дж. Хойберга; пер. с англ. С.Ш. Абрамовича. – М.: Химия, 1974. – 247 с.
2. Королев, И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве / И.В. Королев. – М.: Транспорт, 1986. – 149 с.
3. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных средах / П. А. Ребиндер // Избр. труды. – М.: Наука, 1979. – С. 31 – 32.
4. Салихов, М.Г. Разработка научно-практических основ объёмной пропитки малопрочных каменных материалов жидкими вяжущими для дорожного строительства: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: МАДИ (ГТУ), 1999. – 37 с.
5. Баронова, Л.Г. Разработка технологии строительства одежд лесовозных дорог с использованием черного объёмно-силикатизированного щебня: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 19 с.
6. Салихов, М.Г. О разработке составов, производстве и укладке асфальтобетонов с пониженной адгезией льда / М.Г.Салихов, М.Х.Хамзин, Ю.Е.Щербаков и др. // Современные научно-технические проблемы транспортного строительства: сб. науч. трудов Всеросс. науч.-практической конф. – Казань: КазГАСУ, 2007. – С. 104 – 106.
7. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия: Принят Межгос. НТК по стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России 17.10.2002. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 22 с. (Введен в действие с 01.05.2003 г.).
8. Салихов, М.Г. Опытнo-промышленная апробация асфальтобетонной смеси с использованием местных стабилизирующих добавок / М. Г. Салихов, И. В. Лотков // Наука в условиях современности: сб. статей студентов, аспирантов, докторантов и профессорско-преподавательского состава по итогам науч.-техн. конф. МарГТУ в 2006 году. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – С. 159 – 161.
9. Вайнштейн, Е.В. Проектирование состава минеральной части щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с заполнителем из отсевов дробления известняков без стабилизирующей добавки Viator-66 / Е. В. Вайнштейн // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. материалов Всерос. науч. студ. конф. по естественно-научным и техническим дисциплинам. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – С. 275.

Поступила в редакцию 01.08.07.